Die männliche Stimme vor und nach der Mutation

Ein Beitrag zur Erkennung und Unterscheidung
der individuellen Merkmale
beim Singen, Sprechen und Flüstern

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
der Philosophischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Klaus Lang
aus Geislingen (Steige)

Berlin 1966

Die männliche Stimme
vor und nach der Mutation

Ein Beitrag zur Erkennung und Unterscheidung
der individuellen Merkmale
beim Singen, Sprechen und Flüstern

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
der Philosophischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Klaus Lang
aus Geislingen (Steige)

Berlin 1966

Gedruckt mit Genehmigung
der Philosophischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. Herbert Helbig
Referent: Professor Dr. Kurt Reinhard
Korreferent: Professor Dr. Hans Hörmann

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Juni 1966

Übersicht

Literatur 4

Vorwort 8

Teil A : Stimme und Stimmwechsel

Phonation und Artikulation 11
Flüstern 13
Theorie der Stimmerzeugung 15
Primärer Stimmklang 19
Vokaltheorie 21
Unterschied von Sprechen und Singen 25
Summen 28
Pfeifen 29
Mutation 31

Teil B : Tonbandaufnahmen

Auswahl des Stimmenmaterials und Tonbandtechnik 36
Tonbandaufnahme und Protokoll 37
Rangordnung und Stimmumfänge 39
Alter und Körpermaße 45
Teilergebnisse 46

Teil C : Allgemeiner Bewertungstest

Aufbau und Durchführung des Tests 48
Auswertung der Urteile 51
Auswertung der Erkennungsmerkmale 54
Teilergebnisse 58

Teil D : Analysen mit dem Sonagraphen

Herstellung und Transkription der Sonagramme 59
Allgemeine Formanten 62
Theorie der Individual-Formanten 65
Teilergebnisse 71

Teil E : Akustische Beispiele 73

Zusammenfassung 75

Anmerkungen 78

Teil F : Tabellen, Zeichnungen und Sonagrammbeispiele 79

L I T E R A T U R

In den Klammern befinden sich Seitenzahlen, die zu der vorliegenden Arbeit gehören.

1 Barth, A. Klang und Tonhöhe der Sprechstimme. Leipzig 1906. 24 (S.26).

2 Berendes, Julius. Neuere Ergebnisse über Bewegungsstörungen des Kehlkopfes. Archiv für Ohren-Nasen- und Kehlkopfheilkunde. 169. Band,1. Heft. Springer 1956. (S.15; S.16; S.17; S.18).

3 Berg, J.v.d. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. Speech Research 1, 1958. (S.15).

4 Bernstein, F. Zur Statistik der sekundären Geschlechtsmerkmale beim Menschen. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Math. Physikal. Klasse 1923. (S.33).

5 Bielke. (Berlin Charité I). Erkenntnisse bei der Behandlung Mutationsgestörter. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde Bd. 6, 1956/58. (S.15; S.17).

6 Dunker, Erich. Irregularities of the laryngeal vibratory pattern in healthy and hoarse persons. Research potentials in voice physiology. State University of New York 1964. 171 (S.11).

7 Duttenhofer, F. M. Untersuchungen über die menschliche Stimme in Hinsicht auf Physiologie, Physik und Musik. Stuttgart 1839. 43 (S.18).

8 Ekstrom, Robert Carl. Comparison of the male voice before, during and after mutation. University of Southern California. 1959. (S.33).

9 Flanagan, James L. Speech Analysis, Synthesis and Perception. Berlin, Heidelberg, New York 1965. 38 (S.12); 43/44 (S.2o); 126ff (S.59); (S.59).

1o Fröschels, Emil. Selected papers. 194o - 1964. Amsterdam 1964. 157 (S.4o).

11 Gierke, Hans v. Über die mit dem Mund hervorgebrachten Pfeiftöne. Pflügers Archiv 249, 1948. 3o7 (S.3o).

12 Goerttler, Kurt. Stimme und Sprache. Sonderdruck aus Freiburger Dies Univ. Bd.5. 1956/57. (S.15).

13 Gutzmann, Hermann. Untersuchungen über die Grenzen der sprachlichen Perzeption. Sonderabdruck Zeitschrift für klinische Medizin. 1906. (S.29).

14 Gutzmann, Hermann. Über die Tonlage der Sprechstimme. Separatabdruck. Würzburg 1906. (S.26).

15 Gutzmann, Hermann. Über die persistierende Fistelstimme. Sonderdr. aus der Deutschen Ärztezeitung, 1908. (S.18).

16 Gutzmann, Hermann. Über die Grundlagen der Behandlung von Stimmstörungen mit harmonischer Vibration. Archiv für Laryngologie und Rhinologie 1918. (S.17).

17 Gutzmann, Hermann. Der Stimmbruch unter gesunden und krankhaften Verhältnissen. Aufsatz 39 a, gehalten in Frankfurt 1938. (S.31).

18 Heinitz, W. Die Sprechtonbewegungen in Arnold Schönbergs "Pierrot lunaire". Vox. Mitteilungen aus dem Laboratorium der Universität Hamburg.
Heft 1, 1925. (S.27).

19 Helmholtz, H.v. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. 4. Auflage. Braunschweig 1877. 176 (S.14); 168 (S.22); 184 (S.23); 183 (S.27); 189 (S.29).

20 Hermann, Ludimar. Phonophotographische Untersuchungen. V. Mitteilung. Die Curven der Consonanten. Pflügers Archiv Bd. 58. 1894. 258 (S.26).

21 Hyrtl. Onomatologia anatomica 1880.
Zitiert bei Benninghoff-Goerttler. Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Bd. 2 Eingeweide.
München und Berlin 1962, 6. Auflage. 179 (S.10).

22 Kaiser, Paul. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. München und Berlin. 10. Aufl. 1961. Tafel VI (S.12).

23 Lottermoser, Werner. Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln. In 'Klangstruktur der Musik'. Berlin 1955. 68 (S.21).

24 Luchsinger-Arnold. Lehrbuch der Stimm- und Sprachheilkunde. Wien 1949/59. 81 (S.24).

25 Lullies, Hans. Physiologie der Stimme und Sprache. Berlin, Göttingen, Heidelberg. 1953.
248 (S.14); 196 (S.14); (S.15); 186 (S.16); 203 (S.19); 256 (S.19); 170 (S.24); 230 (S.39).

26 Meyer-Eppler, Werner. Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie. Berlin, Göttingen, Heidelberg. 1959. 296 (S.24); 296 (S.25); (S.59); 3o3 (S.63).

27 Moll, Adolf. Wie erhalten wir unsere Stimme gesund? Teubner Verlag 1914. (S.12);(S.14).

28 Némai, Josef. Zur Anatomie und Physiologie des Stimmorgans. Monatsschrift für Oto-, Laryngo- und Rhinologie. 1937. (S.18).

29 Panconcelli-Calzia, Giulio. 3ooo Jahre Stimmforschung. Die Wiederholung des Gleichen. Marburg 1961. (S.15); 1o4 (S.23).

3o Potter, Ralph K., Kopp, George A. und Green, Harriet C. Visible speech. New York D. Van Nostrand Company, INC. 1947. (S.59).

31 Santen, G.W.v. Einführung in das Gebiet der mechanischen Schwingungen. Philips Technische Bibliothek. Amsterdam 1954. 14 (S.2o).

32 Schilling, Anton und Karthaus, K. Entwicklungsbeschleunigung und Stimmwechsel. Sonderabdruck Hals-, Nasen-, Ohren-Wegweiser für die fachärztliche Praxis. 9. Band. 11. Heft. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1961. (S.27); (S.32);(S.39).

33 Schilling, Rudolf. Stimmuntersuchungen an Studenten der Universität Freiburg i. Br. I. Teil. Leipzig 1928. (S.32); (S.33).

34 Schönberg, Arnold. Vorwort zu "Pierrot lunaire" op.21, 1912. (S.27).

35 Schönberg, Arnold. Aus einem Brief an den Dirigenten Hans Rosbaud vom 15.2.1949. Abgedruckt in 'Das Werk Arnold Schönbergs' von Josef Rufer. Kassel-London-New York. 1959. 2o (S.28).

36 Scripture, E. W. The organ of voice. Reprint No. 315, Volta Bureau, Washington 192o. (S.12).

37 Stumpf, Carl. Zur Analyse geflüsterter Vokale. Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses. Berlin 1919. 247 (S.23).

38 Stumpf, Carl. Singen und Sprechen. Sonderabdruck aus der 'Zeitschrift für Psychologie'. Bd. 94. Leipzig 1923. 36 (S.25).

39 Stumpf, Carl. Die Sprachlaute. Berlin 1926. 144, 143 (S.14); 4o1 (S.21); 4 (S.22); (S.23); 154 (S.29).

4o Tonndorf, W. Die Mechanik bei der Stimmlippenschwingung und beim Schnarchen. Zeitschrift für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. Sonderabdruck aus Bd. 12/II. München und Berlin. 1925. 243 (S.16).

41 Trendelenburg, Wilhelm. Die Entstehung und Ausbreitung des Stimmklangs im Körper. Vorabdruck aus dem Verhandlungsbericht des II. Internationalen Oto-Rhino-Laryngologen-Kongresses. Berlin 1936. (S.11; S.19; S.19; S.19; S.2o; S.29).

42 Walker, Helen M. Statistische Methoden für Psychologen und Pädagogen. Weinheim/Bergstraße 1963. 55 ff (S.52).

43 Weiss, Desider. Ein Fall von dreifacher Phonation. Extrait des Néerlandaises de Phonétique Expérimentale. 1935. (S.31).

44 Weiss, Desider. Singen, Sprechen und die Vokalfrage. Vortrag, gehalten in der Österreichischen Gesellschaft für experimentelle Phonetik. Mitteilungen über Sprach- und Stimmheilkunde. Jahrg. 1, Heft 1o. 1935. (S.26).

45 Weiss, Desider. Physiologie der Stimme. Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie . Sonderdruck aus Heft 8,9,11 und 12. 7o. Jahrg. 1936. (S.24); (S.32).

46 Wustrow, F. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Bd. II Teil 12. 1963. Stuttgart 1963. (S.13); (S.22).

Vorwort

Die Mutation ist das wichtigste Ereignis in der Entwicklung der männlichen Stimme und wird nicht nur von den Stimmphysiologen und Stimmpädagogen mit großer Aufmerksamkeit verfolgt. Gerade die musikwissenschaftliche Grundlagenforschung ist an der Beschaffenheit und Wandlung individueller stimmlicher Qualitäten besonders interessiert. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in erster Linie mit der Frage, ob während der Reifezeit auch in der Stimme verwandte Merkmale erhalten bleiben und ob man die Stimme desselben Jungen vor und nach der Mutation wiedererkennen kann.

Eine Antwort war nur durch den zeitraffenden Einsatz der Tonbandtechnik möglich. So wurden die Sing- und Sprechstimme, Summen, Flüstern und Pfeifen von solchen Jungen auf Tonband aufgenommen, die der Mutation am nächsten waren und die ein Jahr später den größten stimmlichen Fortschritt zeigten. Die direkten Vergleiche der Singstimme einerseits und der Sprechstimme andererseits wurden von 1oo Testpersonen beurteilt und die Ergebnisse den objektiven Messungen des Visible-speech-Verfahrens gegenübergestellt. Dabei konnten theoretische Grundlagen für die Auffindung individueller Stimmklangfarben geschaffen werden, die über die Mutation hinaus Gültigkeit besitzen.

Der Dank gilt meinem hochverehrten akademischen Lehrer Herrn Professor Dr. Kurt Reinhard, der diese Arbeit in jeder Hinsicht unterstützt und gefördert hat. Wichtige Hinweise bekam ich von Herrn Professor Dr. Hans Hörmann und Herrn Privatdozent Dr. Hans-Peter Reinecke sowie seinen Mitarbeitern. Herr Professor Dr. Hermann Gutzmann ließ mich in seiner wertvollen Privatbibliothek uneingeschränkt arbeiten und ermöglichte mir dadurch den Einblick in die Geschichte der Stimmphysiologie. Die Arbeit in den Schulen befürworteten Herr Schulrat Dr. Günther, die Herren Oberstudiendirektoren Padberg und Collm und in besonders selbstloser Weise Herr Oberstudienrat Johannes Müller.

Dem Leiter des Instituts für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn Herrn Privatdozent Dr. Gerold Ungeheuer und seinen Assistenten schulde ich besonderen Dank für die Bereitstellung des Sonagraph Model Recorder und des dazugehörigen Materials. Herr Intendant Professor Erwin Piscator hat für meine Untersuchungen großes Interesse gezeigt und mir seine Zustimmung zur Benutzung der tontechnischen Apparatur der Freien Volksbühne Berlin gegeben. Die Tonbandaufnahmen wären ohne die überaus großzügige Spende von Tonbändern Typ LGR der Badischen Anilin- und Sodafabrik (BASF) Ludwigshafen/Rhein unmöglich gewesen. Für diese Hilfe danke ich besonders herzlich.

"Den Vorsprung, welchen der Kehlkopf nur am männlichen Halse bildet, nannten die Araber Pomum viri, und da vir im Arabischen adam heißt, machten die hebräischen wie die lateinischen Übersetzer aus dem Pomum viri ein Pomum Adami, welchen die frommsinnige Beschränktheit jener Zeit mit der Erbsünde in Zusammenhang brachte, da dem Adam auf Gottes Ruf: Wo bist Du! ein Teil der Frucht vom verbotenen Baum vor Schreck im Halse stecken blieb und die Geschwulst am Halse erzeugte, welche alle Männer, weil alle im Adam gesündigt haben, als amende honorable tragen müssen: ad posteros propagatum istius malefici signum."

Hyrtl, Onomatologia anatomica 1880 (21)

T E I L A

S T I M M E U N D S T I M M W E C H S E L

Phonation und Artikulation

Zum Verständnis aller Vorgänge bei der Stimmerzeugung und beim Stimmwechsel (Mutation) ist ein spezielles Wissen über den Aufbau, die Funktion und die Koordination der beteiligten Elemente unerläßlich. In unsere Betrachtungen sollen Flüstern, Singen, Sprechen, Summen und Pfeifen einbezogen werden. An der Entstehung dieser Ton-, Klang- oder Geräuschphänomene sind im weiteren Sinne die Großhirnrinde und der Gehörapparat, im engeren Sinne der Stimmerzeugungs- und Lautgestaltungsmechanismus beteiligt.

Die Stimmerzeugung (Phonation, vgl. Fig.2) geschieht im Kehlkopf (Larynx). Die in der Lunge gespeicherte Luft wird durch das Windrohr (die beiden Äste der Lunge= Bronchien und die Luftröhre= Trachea) zu den Stimmlippen (Stimmbänder) geleitet und ist damit Voraussetzung für die Erzeugung periodischer und aleatorischer Schwingungen im Kehlkopf. Die Stimmlippen schwingen in den gewöhnlichen Sprech- und Singtonhöhen entsprechend der Frequenz ihrer Grundschwingungen. Bei einem Stimmumfang von E bis e/3 sind das 82 bis 1319 Schwingungen in der Sekunde. Dunker/6 hat nachgewiesen, daß bei der physiologischen Phonation die Schwingungs-Symmetrie der beiden Stimmlippen ein wichtiges Kriterium ist. "Über die Richtung, in welcher sich die Stimmlippenränder aus der Verschlußlage entfernen, ist bekannt, daß sie weder ausschließlich nach oben (längs), noch auch ausschließlich nach seitwärts (quer) erfolgt, sondern schräg, allerdings mit Überwiegen der Querrichtung." (Trendelenburg/41). Die Stimmritze (Glottis) ist bei Brusttönen in einem Teil der Schwingungsphase, bei hohen Kopftönen stets geöffnet.

Fig.1. Artikulationsapparat
(nach Kaiser/22, Moll/27 und Scripture/36)

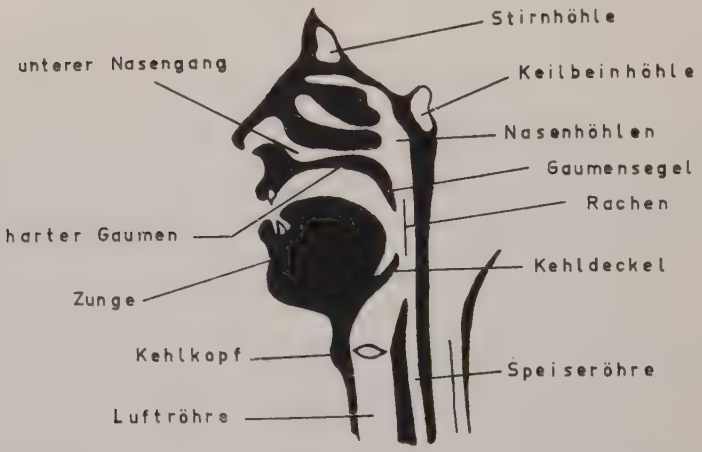
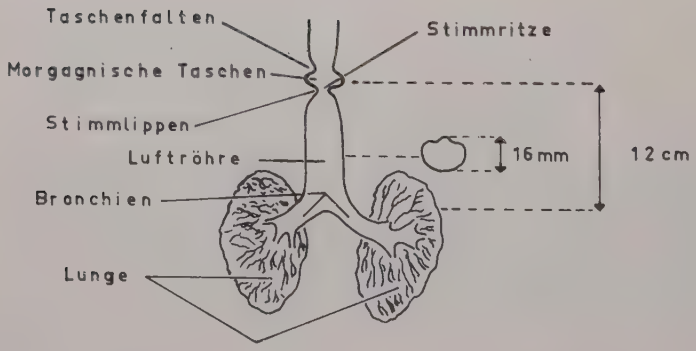


Fig.2. Phonationsapparat
(nach Flanagan/9)



Die Lautgestaltung (Artikulation, vgl.Fig. 1) erfolgt im Ansatzrohr (Rachen-, Mund- und Nasenraum). Artikulatorisch unveränderlich sind nur die Nasenhöhlen, die durch das Gaumensegel aus- und eingeschaltet werden. Im Rachenraum (Pharynx) ist der Kehldeckel (Epiglottis) veränderlich. Dieser bildet den Abschluß des Mundrachens (Mesopharynx) und den Eingang zum Kehlkopf. Der Kehldeckel schirmt beim Schluckvorgang den Kehlkopf ab und hebt sich beim Atmen und bei der Stimmgebung mehr oder weniger in die Höhe. Die wichtigste Veränderliche ist der Mundraum. Er beeinflußt durch die große Beweglichkeit der Zunge, der Lippen und des Unterkiefers die Beschaffenheit der Laute in entscheidendem Maße.

Flüstern

Beim Flüstern strömt die Atemluft wie bei der normalen Stimmgebung durch Mund und Nase. Das Gaumensegel gibt bei den Konsonanten m,n und ng die Nasenhöhlen frei, jedoch sind diese Laute sehr undeutlich und erst im Kontext unterscheidbar. Während beim Hauchen die Stimmritze weit geöffnet ist und die aus der Lunge hergeleitete Luft fast reibungslos ins Freie gelangt, sieht der Laryngologe beim Flüstern, wie sich die Stimmritze verengt; sie nimmt die Form eines auf den Kopf gestellten Y an und bildet das sog. Flüsterdreieck (Fig. 3). Zum Flüstern wird zwar weniger Luft als zum Hauchen benötigt, aber immer noch wesentlich mehr als zur gewöhnlichen Stimmgebung. Von den Medizinern wird Flüstern als unphysiologisch bezeichnet und infolge der ungünstigen Schwingungs- und Ausatmungsverhältnisse auch zur Schonung der Stimme abgelehnt. (Wustrow/46).

tiefes Atmen Hauchen Flüstern

Fig. 3. Verschiedene Öffnungsweiten der Stimmritze.
(nach Moll/27 und Lullies/25)

Die bis zur Stimmritze laminare Luftströmung muß durch den subglottischen Druck beim Passieren der Verengung eine starke Turbulenz erfahren, wobei jedoch die Stimmlippen infolge ihrer starken Anspannung nicht in Schwingungen versetzt werden. "Die Mundhöhle wird dabei gleichsam wie eine Orgelpfeife angeblasen, und verstärkt durch ihre Resonanz die entsprechenden Töne des Luftgeräusches, welches theils in der verengerten Stimmritze, theils in den vorderen verengten Stellen des Mundes, wo dergleichen sind, hervorgebracht wird." (Helmholtz/19). "Bei der Flüsterstimme ist es gewissermaßen nur die 'wilde Luft', die den geflüsterten Laut erzeugt, wobei die als Schall abgegebene Energie im Vergleich zum Luftverbrauch sehr viel geringer ist als bei normaler Phonation." (Lullies/25).

"Man kann mit Flüstervokalen leicht Intervalle, gebrochene Akkorde und kleine melodische Phrasen bilden. Man kann aber nicht auf ein und demselben Vokal eine Melodie flüstern... Gerade daran zeigt sich, daß für jeden Flüstervokal von bestimmter Nuance nur eine bestimmte charakteristische Tonhöhe existiert... Sind doch die Flüstervokale geradezu als 'Vokale in Reinkultur' bezeichnet worden, weil hier die Formanten allein ohne die variablen Stimmtöne zu beobachten seien. Die Beobachtungen selbst zeigen leider noch nicht die wünschenswerte Übereinstimmung." (Stumpf/39).

Bei unseren Untersuchungen wird zu klären sein:

1) Inwieweit ist Flüstern Träger individueller akustischer Merkmale?

2) Bewirkt in der Zeit der Mutation das allgemeine körperliche Wachstum und besonders das des Kehlkopfes eine Veränderung der Flüster-Qualitäten?
3) Ist die Verwandtschaft der Flüstervokale vor und nach dem Stimmwechsel größer als die der gesprochenen Vokale?
4) Sind geflüsterte und unmittelbar danach gesprochene Vokale derselben Person enger verwandt als geflüsterte oder gesprochene Vokale vor und nach der Mutation?

Theorie der Stimmerzeugung

Zwischen geflüsterten und gesprochenen stimmlosen Lauten besteht kein hörbarer Unterschied. Folglich entscheiden erst die stimmhaften Laute über die Stimmanwendung. Von den stimmhaften Lauten können auch die Vokale geflüstert und gesprochen werden. Dabei ist der an der Glottis entstehende Luftwirbel von grundsätzlich verschiedener Beschaffenheit. In Fachkreisen besteht bis heute keine Einigkeit, wie mit Hilfe der in der Lunge gestauten Luft der "primäre Ton", der "Stimmton" oder "Stimmklang" hervorgebracht wird.

Zwei Theorien widersprechen sich: Die "Aerodynamisch-muskuläre" ("Myoelastische") Theorie, gründend auf den Versuchen an Leichenkehlköpfen von Johannes Müller (1839), und die "Neuro-muskuläre" ("Neurochronaxische") Theorie von Raoul Husson (seit 1933). Wenige Forscher (z.B. Goerttler/12, Panconcelli-Calzia/29, Bielke/5 und die Franzosen Laget, Moulonguet, Piquet, Decroix und Libersa) bekennen sich heute noch zu Husson. Besonders Lullies/25, Berendes/2 und van den Berg/3 haben sich eingehend und kritisch mit der französischen Hypothese auseinandergesetzt.

Nach der klassischen "Aerodynamisch-muskulären" Theorie "handelt es sich bei den phonatorischen Stimmlippenbewegungen um sog. selbsterregte Schwingungen: ein schwingendes

System regelt die von einer Energiequelle nachströmende Energie und wird durch diese wiederum im Schwingen gehalten. Ebenso wie eine Saite durch den Bogenstrich oder eine Stimmgabel durch einen kontinuierlichen Luftstrom zum Schwingen gebracht werden kann (F. Trendelenburg), so treibe auch der durch die Exspirationsbewegung bei der Phonation erhöhte subglottische Druck die Stimmlippen auseinander; nun strömt durch die Öffnung Luft aus, der Druck sinkt, und die Elastizität der Stimmlippen führt diese wiederum zusammen oder näher zueinander." (Berendes/2).

W. Tonndorf/40 schreibt: "Sobald der Luftstrom bei der Phonation die Stimmritze ein wenig gesprengt hat, wird die unter erhöhter Geschwindigkeit ausströmende Luft ein Druckgefalle erfahren, und somit aus sich heraus die Kraft erzeugen, welche die eben gesprengten Stimmlippen wieder zusammensaugt. Und dieses Wechselspiel wird und muß sich... wiederholen, solange die Luft strömt und die Stimmlippen in Phonationsstellung bleiben." Für das Prinzip sei es völlig gleichgültig, ob die Stimmlippen elastisch sind oder nicht.

"Die willkürliche Betätigung des Stimmapparates erfolgt von der Großhirnrinde, in der bestimmte Stellen Beziehungen zur Kehlkopfmuskulatur haben. Wie bei der übrigen Muskulatur werden jedoch für die feine Koordination der Bewegung der an der Stimmgebung beteiligten Muskeln auch die Stammganglien (Corpus striatum), die motorischen Kerne des Mittelhirns (Nucleus reticularis) und das Kleinhirn mitwirken, die man im Begriff des extrapyramidalen Systems zusammenzufassen pflegt. Ferner müßten auch die vegetativen Zentren des Zwischenhirns bei dem starken Einfluß, den seelische Vorgänge oder Stimmungen auf die Stimme und Sprache des Menschen haben, direkt oder indirekt auf die primären Zentren in der Medulla oblongata +) Einfluß nehmen können." (Lullies/25).

+) Medulla oblongata= Verlängertes Mark

Die "Neuro-muskuläre" Theorie von Husson wird mehr und mehr zur Bestätigung statt zur Widerlegung der klassischen Theorie herangezogen. Der Forschungsauftrieb, den das neue Durchdenken der Stimmerzeugung bewirkt hat, wird jedoch allgemein anerkannt. Husson und seine Schule kommen durch Versuche an Hunden und Menschen zu dem Ergebnis, daß die Schwingungen der Stimmlippen aktiv durch rhythmische Nervenimpulse vom Zentralnervensystem aus angeregt und ausgeführt werden. Der subglottische Druck und die Luftströmung durch die Stimmritze beeinflusse dabei nur die Lautstärke. Zur Stützung der Hypothese werden Einzelbeispiele angeführt, bei denen die Stimmlippen ohne Luftdruck zum Schwingen gekommen seien.

Husson versucht mit seiner Theorie alle Stimmphänomene zu erklären, sogar die Registererscheinungen und die Vorgänge bei der Mutation. (Näheres bei Berendes/2 und Bielke/5). Der Aufwand der Rechtfertigung steht dabei in keinem Verhältnis zu dem der klassischen Theorie. Nur Piquet (Lille) hat an einem einzigen Patienten beim sog. "inneren Singen" Bewegungen der Stimmlippen beobachtet. Gutzmann / 16 hat 1918 bei Bienen nachgewiesen, daß der Summton auch beim Abschneiden der Flügel zu hören ist. Dieser könne seiner Tonhöhe nach niemals aktiv angeregt werden, sondern entstehe durch das Vorbeistreichen der Luft an den 2o Stigmen des Chitinpanzers. (Die Stigmen seien dem Bau des menschlichen Kehlkopfes erstaunlich ähnlich.) Nach 1955 kommt Vallancien zu dem Resultat, daß die Stimmlippen bei Erregung ihrer Nervenfasern spätestens mit 4o Reizen pro Sekunde vollständig tetanisiert sind. Auch Fessard hält daran fest, daß das, was man bei den Stimmlippenbewegungen an elektrischen Potentialen mißt, nicht oder nicht allein ein Ausdruck aktiver Tätigkeit, sondern im wesentlichen ein elektrischer Effekt der durch Schwingung eintretenden Muskeldeformation ist.

Vier Experimente sollen noch zitiert werden, die eindeutig gegen die "Neuro-muskuläre" Stimmerzeugung sprechen.

1) "Versucht man es, während des Einathmens zu sprechen, so

wird man in den meisten Fällen nur rauhe klanglose Töne hervorbringen können, die aber bei längerer Uebung und einem glücklichen Organ bedeutend verbessert werden können. Der Anspruch ist sehr erschwert, und der bei sonst gleichem Verhalten des Kehlkopfes hervorgebrachte Ton ist nach meinen Versuchen hierüber stets um einen halben Ton tiefer, als der Exspirationston." (Duttenhofer/7).

2) "Das Hervorbringen der tiefen Lage kann man auch dadurch befördern, daß man den Schildknorpel ein wenig mit dem Daumen nach hinten drückt. Diese äußere Nachhilfe, die von Bresgen zuerst angegeben wurde und die mit dem Druck nach unten, welcher von Kayser empfohlen wird, kombiniert werden kann, dient dazu, die Stimmlippen von der Spannung des M.-cricothyreoideus +) zu befreien." (Gutzmann/15).

3) "Man kann an sich selbst den Versuch machen, den Kehlkopf seitlich zu komprimieren, während man eine hohe Note singt. Sobald man den Seitendruck aufgibt, wird der gesungene Ton plötzlich tiefer sinken. Polnisch-jüdische Kantoren, die beim Singen auch sonst lebhaft gestikulieren, pflegen sich manchesmal den Kehlkopf mit Daumen und Zeigefinger seitlich zu komprimieren, sofern sie eine hohe Note singen, der sie sonst nicht gewachsen sind." (Némai/28).

4) "Neuerdings hat van den Berg zur Tonhöhensteuerung folgenden Versuch angeführt: Ein Stück Watte verschließt unvollständig ein Nasenloch einer Person, die mit gleichbleibender Lautstärke summt. Wird nun das andere Nasenloch durch den Untersucher abwechselnd geöffnet und geschlossen, so sinkt der Grundton beim Verschluß und steigt bei der Öffnung des Loches. Bei einer zentralen Frequenzsteuerung wäre das nicht möglich." (Berendes/2).

Diese wenigen Manipulationen kann jeder an sich selbst durchführen. Sie reichen aus, um die Bedeutung der Mechanik für die Produktion der Tonhöhen zu unterstreichen. So sind auch die akustischen Veränderungen beim Stimmwechsel in erster Linie von physischen Umbildungen abzuleiten,

---

+) M.-cricothyreoideus = Muskelgruppe, die für die Stimmlippenspannung verantwortlich ist.

wofür der Adamsapfel beim Mann ein unwiderlegbares Zeugnis gibt.

Primärer Stimmklang

Die Entstehung der stimmhaften Laute ist von Wilhelm Trendelenburg/41 eingehend untersucht worden. Seine Erkenntnisse sind bis heute allgemein anerkannt. Trendelenburg bewies als erster, daß die Stimmlippenschwingungen, unabhängig davon, ob die Räume oberhalb der Glottis weggeschnitten sind oder nicht, annähernd sinusförmige Gestalt haben. "Schwängen die Stimmbänder in ganz derselben Art und Stärke, wie etwa bei einem lauten, kräftigen Brustton, ohne daß aber Luftstöße durch ihre Schwingungen vermittelt würden, so hörte man vielleicht nur ein ganz leises Summen". (Grützner, zitiert bei Trendelenburg/41).

Schon 1898 hat Musehold beobachtet, daß sich die Stimmlippen bei laut gesungenen Tönen im Brustregister mit ihren wulstigen Rändern breit aneinanderlegen. Daraus ergibt sich, daß die Phase des Stimmritzenschlusses in diesem Fall länger dauern wird als die der Öffnung. (Lullies/25) Der Öffnungsquotient, das ist das Verhältnis von Öffnungszeit zur Dauer einer ganzen Periode, beträgt bei tiefen Grundtönen 1/4 bis 1/5. Die Verschlußzeit wäre dann 3/4 bis 4/5 der Periode. Bei höheren Tönen nimmt die Öffnungszeit einen weit größeren Betrag der Grundperiode ein, bis sich bei der Kopfstimme die Stimmlippen mit zunehmender Verkürzung überhaupt nicht mehr berühren und nur noch an ihren Rändern schwingen. (Trendelenburg/41). "Damit muß die primäre erregende Luftschwingung ihre Eigenschaften verändern und zu sekundären Luftraumschwingungen von anderer Zusammensetzung führen, so daß z.B. in den Klängen der höheren Register die höheren Obertöne relativ schwächer vertreten sind als im Brustregister." (Lullies/25).

Auf die Wirbelbildung oberhalb der Glottis wurde schon bei der Besprechung des Flüsterns hingewiesen. Bei

der Stimmgebung fallen dieser andere, aber ebenfalls wesentliche Aufgaben zu. "Die Bedeutung der Vorgänge dicht über der Stimmritze liegt wohl nicht so sehr, jedenfalls nicht allein, in der Rückführung der Stimmlippen zur Verschlußstellung..., als in der Herstellung eines an Teilschwingungen sehr reichen Klangbildes, aus dem die mehr oder weniger veränderlichen weiter nach oben angeschlossenen Lufträume den endgültigen Luftklang formen." (Trendelenburg/41). Während also die Stimmlippen bei der Phonation einer fast unhörbaren Sinusschwingung folgen, bewirken der wechselnde Öffnungsquotient der Stimmritze und die Turbulenz eine wesentliche Anreicherung des periodisierten, aus der Luft hergeleiteten Luftstroms. Auf diese Weise wird der eigentliche Stimmklang geformt.

Der primäre Luftschall hat die Gestalt einer sog. Relaxationsschwingung. Das ist eine nicht-sinusförmige Schwingung, die jedoch mit Hilfe der Fourieranalyse auf eine Summe vieler sinusförmiger Einzelschwingungen zurückgeführt werden kann. (Santen/31). Eine genaue Analyse einer einzelnen Stimmklangperiode hat Flanagan/9 vorgenommen:

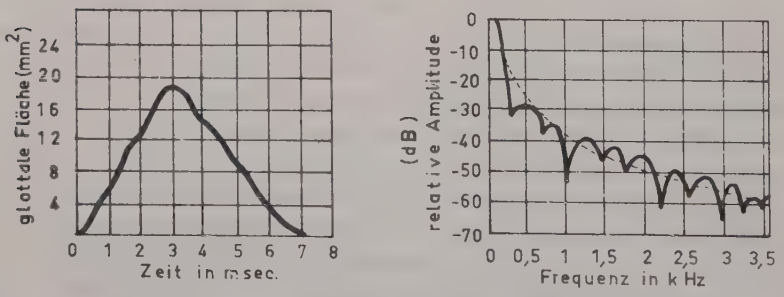


Fig. 4. Einzelne Stimmklangschwingung und deren spektrale Analyse (125 Hz, männlich, nach Flanagan 1958/61)

Wie man sieht, enthüllt die dachförmige Luftschwingung bei ihrer Zerlegung in einem weiten Frequenzbereich eine sehr große Anzahl von Einzelschwingungen. Da die Primärschwingung ein echter Klang ist, liegen auch die Partialschwingungen harmonisch zueinander. Jetzt muß der Frage nachgegangen werden, wie und weshalb sich Klänge, die von den Musikinstrumenten hervorgebracht werden, von denen der menschlichen Stimme unterscheiden.

Vokaltheorie

Bei allen Klangerzeugungen herkömmlicher Musikinstrumente bestimmen der jeweilige Erreger und das mit ihm gekoppelte Resonanzsystem die Klanggestalt. Der Erreger (Saite, Rohrblatt, Luftwirbel etc.) erzeugt den mehr oder weniger teiltonhaltigen Klang, das Resonanzsystem (Holz-, Metallkörper, Lufthohlräume etc.) besorgt die Auswahl und die Verstärkung der Obertöne.

Die Anzahl der Harmonischen ist bei den Instrumenten vom Erreger, vom Resonanzsystem und von der Tonhöhe abhängig; die Stärke nimmt in der Regel mit der Ordnungszahl der Obertöne ab. Die Musikinstrumente vermitteln keine "Programme", sondern begnügen sich mit dem "absoluten"Wert ihrer spezifischen Klänge. Nur in Ausnahmefällen und da oft nur bei gelenktem Vorstellungsvermögen werden Vokaldifferenzierungen erkennbar. Eine solche Ausnahme finden wir unter den Zungenpfeifen der Orgel. Lottermoser/23 gibt die spektrale Analyse einer Vox humana 8' Pfeife (A.Silbermann-Orgel), die dem Klang des menschlichen A-Vokals außerordentlich nahe kommt. Der Bau dieser Pfeife zeigt eine bewußte Nachahmung des menschlichen Stimmapparates. Stumpf/39 geht einmal sogar soweit und sagt: "Die festen Nebenformanten der Instrumente, einschließlich des Näselformanten, sind nichts anderes als die Vokalformanten, eingefügt in Instrumentalklänge".

Riegelt man den Mundraum mit der Zunge und dem Gaumensegel ab, wie das beim Summen gewöhnlich der Fall ist, so hört man, daß sich der Stimmklang artikulatorisch fast nicht beeinflussen läßt. Wustrow/46 beschreibt Versuche von Beckmann und Oeken, die sich mit der Analyse von direkt oberhalb der Stimmlippen aufgenommenen Stimmtönen befaßt hätten. Sie hätten nur ein undifferenziertes Klanggemisch gefunden. Gibt man den Mundraum frei und achtet darauf, daß sich keine Reibegeräusche bilden, so entstehen bei verschiedener Einstellung von Zunge, Unterkiefer und Lippen die Vokale.

Die Entstehung der Vokale ist von Helmholtz 1856 mit der "Obertontheorie" und von Hermann 1889 mit der "Anblasetheorie" begründet worden.

Hermann v. Helmholtz/19 führt dazu selbst aus: "In der That sind die Vocale der menschlichen Stimme Töne membranöser Zungen, nämlich der Stimmbänder, deren Ansatzrohr, nämlich die Mundhöhle, verschiedene Weite, Länge und Stimmung erhalten kann, so dass dadurch bald dieser, bald jener Theilton des Klanges verstärkt wird. Um die Zusammensetzung der Vocalklänge zu begreifen, muss man zunächst berücksichtigen, dass der Ursprung ihres Schalles in den Stimmbändern liegt." Das Ansatzrohr filtert also den Stimmklang und verstärkt die ausgewählten harmonischen Teiltöne.

Ludimar Hermann wird von Stumpf/39 wie folgt kommentiert: "Der charakteristische Ton - für den er den bequemen Ausdruck 'Formant' einführte - braucht nach ihm keineswegs ein harmonischer Teilton zu sein und entsteht nicht durch die Resonanzverstärkung eines solchen in der Mundhöhle. Diese wird vielmehr durch den im Rhythmus der Grundschwingungen intermittierenden Luftstrom aus dem Kehlkopf wie eine Art Pfeife angeblasen. Doch stimmte Hermann seinem Vorgänger darin bei, daß der Formant für jeden Vokal eine feste absolute Lage in der Tonreihe habe, einerlei, auf welchem Grundton zufällig gesungen werde."

Man weiß heute, daß Hermann geirrt hat. Seine Theorie ist deshalb nicht richtig, weil der primäre Stimmklang in den gewöhnlichen Sprechtonhöhen in ausreichendem Maße das

enthält, was zur Entstehung der Vokale erforderlich ist. Sprechen ist etwas grundsätzlich anderes, als die Addition von Flüstern und Stimmtönen. Sprechen und Flüstern haben zwei völlig verschiedene Erregersysteme und sind nur zwei von zahlreichen Möglichkeiten, die Eigentöne der Mundhöhle herauszufordern.

Bei den objektiven Analysen der natürlichen Klangfarben in Teil D muß sich in der Praxis nachweisen lassen, ob gesprochene Vokale auch im hochfrequenten Bereich von geflüsterten unterschieden werden können oder nicht.

Der Stimmklang trägt nicht immer Teiltöne in sich, die zur Bildung und Erkennung der Vokale notwendig sind. Das führt auch heute noch zu falschen Rückschlüssen. Panconcelli-Calzia/29 schreibt 1961 (!): "Seit etwa 1856 gilt der Grundsatz, daß die für einen Vokal maßgebend-typischen Teiltöne eine konstante Höhe ausweisen. Danach tritt z.B. beim Vokal a immer wieder der Teiltonbereich um 8oo Hertz, bei o um 4oo Hertz am stärksten hervor, unabhängig von der Höhe des Grundtones! Vgl.hier Helmholtz. Heute sieht man ein, daß diese Auffassung keine sichere Basis hat: Wenn z.B. a auf c/3 (1o35 Hertz) gesungen wird, so kann es den typischen Teiltonbereich von 8oo Hertz unmöglich aufweisen, denn die Frequenz ist bedeutend tiefer als der Grundton!"
Der Vergleich mit Helmholtz/19 läßt allerdings schon 1877 die 'sichere Basis' erkennen: "Beim Singen in höheren Lagen werden die Verhältnisse ungünstiger für die Charakterisierung der Vocale." Und Stumpf/39 überschreibt 1926 in seinem Buch "Die Sprachlaute" ein ganzes Kapitel mit 'Das Unkenntlichwerden der Vokale in der höheren Sopranlage.'

In einer Fußnote des Sonderabdrucks "Zur Analyse geflüsterter Vokale" von Carl Stumpf/37 finden wir eine wichtige Bemerkung. "Es sei hier aber erwähnt, daß die charakteristischen Regionen bei gesungenen Vokalen mit steigender Höhe des Grundtones merklich in die Höhe rücken." Bei dieser Beobachtung muß vorausgesetzt werden, daß die Artikulationsstellung in den verschiedenen Tonhöhen genau beibehalten wurde. Dann kann aber das Höherrücken der For-

manten nur mit einer Verringerung des Volumens begründet werden, d.h. der Kehlkopf müßte bei höheren Tönen steigen. D. Weiss/45 schreibt darüber: "In einer Gleitröhre von Skelett, Muskeln und Faszien steigt der Kehlkopf auf und ab (Elze), doch ist es nach Nadoleczny eine offene Frage, weshalb diese Bewegungen bei der Phonation ausgeführt werden. Die Annahme, daß der Kehlkopf mit Steigen der Tonhöhe steigen müsse und umgekehrt, ist im Prinzip vollkommen widerlegt worden. Schon 1876 betont Mandl die Unabhängigkeit der Kehlkopfstellung von der Tonhöhe. Während z.B. Panconcelli-Calzia und Ott bei loo Sängern in 63 Fällen ein Steigen des Kehlkopfes bei Tonerhöhung und in 37 Fällen ein Sinken oder Unbeweglichkeit desselben feststellen konnten, betont Nadoleczny, daß bei Sängern von höherer Qualität die Kehlkopfbewegung der Tonhöhenbewegung entgegengesetzt ist." Luchsinger und Arnold/24 schließen sich der Meinung an, daß kein starrer Zusammenhang zwischen der Stellung des Kehlkopfes und der Tonhöhe bestehe, sondern hier vielmehr eine Möglichkeit gegeben sei, das Timbre zu variieren.

Lullies/25 ist ganz anderer Ansicht: "Bewegungen des ganzen Kehlkopfes finden in größerem Ausmaß nicht nur beim Schluckvorgang statt, sondern in geringerem Umfang auch bei der Phonation, z.B. steigt der Kehlkopf beim Übergang vom Brust- und Mittelregister zum Kopfregister bzw. zum Falsett deutlich höher". Will man nicht annehmen, daß sich bei steigender Tonhöhe eine Verengung des Mundrachens ergibt, so müßten, wenn Nadoleczny recht hat, bei hochwertigen Sängern mitunter Senkungen der Formantlagen festgestellt werden können. Es gibt darüber keine Untersuchungen.

Bekannt ist die Verschiebung der beiden ersten Formantfrequenzen von Vokalen bei Kinder-, Frauen- und Männerstimmen nach der Tiefe hin. "Dies bedeutet, daß in der Beschreibung der Vokalvalenzen durch die beiden tiefsten Formantfrequenzen nicht nur semantische, sondern auch diagnostische Merkmale eingehen. Der für das sprechende Individuum charakteristische anatomische Bau des Artikulationsorgans beeinflußt die Lage der Produktions-Isonymiegebiete." (Meyer-Eppler/26). Fig. 5 zeigt die Formantrückungen bei amerikanischen Vokalen.

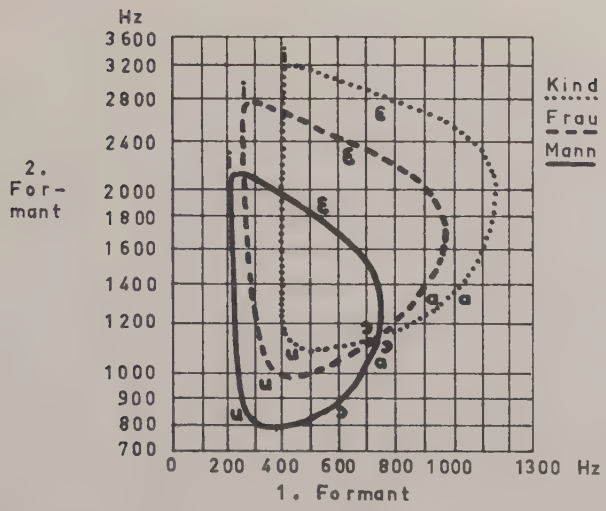


Fig.5 Formantkarte mit den (amerikanischen) Vokaldreiecken für Männer-, Frauen- und Kinderstimme (nach Peterson bei Meyer-Eppler/26)

Wenn im Teil D nach verwandten Klangbildern gesucht wird, muß die Rückung der Formanten auch für den hochfrequenten Bereich ermittelt und im Falle ihrer Gesetzmäßigkeit beim Vergleich der Kinder- und Männerstimmen berücksichtigt werden.

Unterschied von Sprechen und Singen

Sprechen und Singen sind vom Stimmwechsel gleichermaßen betroffen. Im Anschluß an die Tonbandaufnahmen der Jungen in Teil B soll das Stimmenmaterial auf seinen Entwicklungszustand hin geprüft werden. Zu diesem Zweck muß geklärt werden, welche Stimmanwendung die sichere Gewähr für eine Rangordnung bietet.

Carl Stumpf/38 sagt: "Sprache und Gesang sind in phänomenalakustischer Hinsicht nicht spezifisch, d.h. nicht

durch irgend eine Grundeigenschaft, sondern nur gradweise verschieden. Aber der Gradunterschied ist im allgemeinen doch so einschneidend, daß die beiden Klassen menschlicher Lautprodukte in gewöhnlichen und ausgeprägten Fällen leicht unterschieden werden. Der einschneidende Gradunterschied beruht hauptsächlich darauf, daß die Sprache in vielfältigster Weise und großem Umfang stetige Tonveränderungen benützt, der Gesang dagegen, wie die Musik überhaupt, prinzipiell nur diskrete Tonstufen." Und Hermann/20 meint zu den Vokalen: "Bei einem einzelnen Vokal kann ... absolut kein Unterschied zwischen Gesungenem und Gesprochenem gesucht werden. Ein lautes A hat, ob gesungen oder gesprochen, stets irgend eine Notenhöhe, nur mit dem Unterschiede, daß dieselbe im ersten Falle bestimmt beabsichtigt, im zweiten dem Zufall oder der Gewohnheit überlassen wird." D. Weiss/44 ist allerdings der Ansicht, daß die Tonhöhenbeurteilung bezüglich des gesprochenen Wortes nur sehr approximativ sein könne.

Einer der ersten, der sich nach Merkel und Paulsen mit der Tonhöhe der Sprechstimme intensiv beschäftigt hat, war Adolf Barth/1. In seiner Schrift "Klang und Tonhöhe der Sprechstimme" gelangt er zu sehr radikalen Erkenntnissen: "Ich habe es also schon ausgesprochen, daß nach meiner Überzeugung alle Menschen, die ich untersucht habe, in C-dur, resp. in einem C-dur-Akkord sprechen. Ich halte es sogar für wahrscheinlich, daß diese schöne Harmonie sich über den ganzen Erdball ausdehnt. Dabei verteilt sich die Tonhöhe der verschiedenen Sprechstimmen auf drei Oktaven, C (66 Schwingungen) bis c/2 (528 Schwingungen)."

H. Gutzmann/14 kritisiert Barth noch im gleichen Jahr seiner Veröffentlichung: "Der tiefste Ton, wie er beim Sprechen vorkommt, bezeichnet die unterste Grenze des Tätigkeitsumfanges des Stimmorganes, bei welchem, natürlich wenn der Ton (wie beim Sprechen in der Regel) piano gegeben wird, mit den geringsten Mitteln und der geringsten Masse von Material gearbeitet wird, während der höchste Ton die meiste Energie beansprucht... Von einzelnen Hinweisen Merkels sei nur besonders der hervorgehoben, dass er der Meinung ist,

dass die menschliche Rede durchaus nicht aus einer bestimmten Tonart gehe, wie das vom Gesange gelte, und dass es jedenfalls der Natur und Freiheit der Sprache zuwiderläuft, wenn man ihr von vornherein eine derartige Fessel anlege... Dagegen sei es wohl zweifellos, dass eine Haupttonart von jedem einzelnen Sprecher bevorzugt werde."

Merkel hat schon 1856 die mittlere Sprechstimmlage an das untere Drittel des Tonumfangs verlegt, und Helmholtz/19 ist der gleichen Ansicht: "Beim Sprechen wählen... beide Geschlechter eine der tiefsten Lagen ihrer Stimme. Die Männer brauchen in der Regel die obere Hälfte der grossen Octave, die Frauen die obere Hälfte der kleinen". Die Hauptsprechtöne liegen nach Paulsen bei Knaben zwischen a und d/1 (13-15 Jahre) und bei Männern zwischen G und e (15-2o Jahre). Schilling/32 gibt die mittlere Sprechtonlage neuerdings mit a-e/1 beim Kind und mit A-e beim Mann an, was den Ergebnissen von Paulsen recht genau entspricht.

Normalerweise achtet man beim Sprechen nicht auf die Tonhöhenbewegung, sondern zählt sie als Modifikation des Ausdrucks zum Inhalt des Gesagten. Beobachtet man seine eigenen Sprechtöne, so verliert die Sprache sofort ihren gewohnten Charakter. Hört man auf die Tonhöhen anderer, so kann man sie bei einiger Übung mühelos verfolgen.

Arnold Schönberg/34 hat in seinem "Pierrot Lunaire" opus 21 von 1912 den umgekehrten Weg beschritten und einer Sprechstimme die Tonhöhenbewegung vorgeschrieben: "Die in der Sprechstimme durch Noten angegebene Melodie ist bis auf besonders bezeichnete Ausnahmen nicht zum Singen bestimmt. Der Ausführende hat die Aufgabe, sie unter Berücksichtigung der vorgezeichneten Tonhöhen in eine Sprechmelodie umzuwandeln." 1925 hat W. Heinitz/18 Transkriptionen von zwei Schallplattenaufnahmen des Werkes vorgenommen und kommt zu dem Resultat, daß "die versuchte genaue Notierung der Sprechstimme zu wenig Rücksicht nimmt auf Einsichten, die die Wissenschaft in bezug auf den Charakter der Sprechtonbewegung längst eröffnet hat. Konnte der Komponist trotzdem in Hamburg zu einer für ihn befriedigenden Wiedergabe

gelangen (was man allerdings nicht objektiv prüfen kann!), so ist m.E. damit bewiesen, daß er seinen Sprechinterpreten künstlerische Freiheiten gestattet, die eine genaue Notierung der innerlich erlebten Gestaltung seines Werkes bis zu einem entsprechenden Grade überflüssig machen. Damit wäre aber nicht mehr der Komponist selbst, sondern eben der Darsteller der eigentliche schöpferische Teil."

1949 schreibt Schönberg (der Brief ist abgedruckt bei Josef Rufer/35) an Hans Rosbaud: "Ich weiß nicht, ob Sie die Platten kennen die ich davon gemacht habe. Die sind in gewisser Hinsicht, was Tempo, Stimmung und Darstellung und vor allem was das Spiel der Instrumentalisten anbelangt, wirklich gut - sehr gut sogar. Sie sind nicht so gut, was das Verhältnis zur Sprecherin darstellt. Ich war ein bischen geärgert über die Zumutung, die Sprecherin zu sehr herauszustreichen, welche ja doch niemals das Thema singt, sondern höchstens dazu spricht, währenddem die Themen und alles musikalisch Wichtige doch in den Instrumenten vor sich geht."

Summen

Beim Summen wird nicht nur der Mund durch die Lippen verschlossen, sondern meist auch die Mundhöhle durch das Heben der Zunge fast ganz als Resonator ausgeschaltet. Dabei ist das Gaumensegel weit geöffnet. Trendelenburg schätzt, daß bei dem mit offener Nase gesungenen stimmhaften M etwa 16% der gesamten Schallenergie von der Körperwand (Mundboden, Naselflügel, Schildknorpel), die übrigen 84% von der Nasenöffnung abgestrahlt werden.

"Summen" kann auch versuchsweise mit geschlossener Nasenöffnung ausgeführt werden. Exspiratorisch ist dies so lange möglich, bis sich Mund- und Nasenhöhlen prall mit Luft gefüllt haben; inspiratorisch ist es fast unmöglich. Auf die erste Weise erhält man den im Vergleich zum Singen oder Sprechen am wenigsten artikulierten Luftschall. Allerdings werden hierbei die höheren Schwingungsanteile des pri-

mären Stimmklangs stark absorbiert und nur noch das Fundament von den Körperwand-Schwingungen übertragen. Trendelenburg/41 hat vom Nasenbein, Nasenseptum und Nasenflügel bei verschlossenen Nasenöffnungen Kurven des stimmhaften M abgenommen, die den hohen Formanten und die zweite Teilschwingung neben der Grundschwingung erkennen ließen.

Schon v.Helmholtz/19 hat dem "Brummen", wie er das Summen nennt, einige Aufmerksamkeit geschenkt: "Dieser brummende Ton wird beim Ansatz der Consonanten M,N und NG gebraucht. Die Nasenhöhle, welche hierbei für den Ausgang des Luftstroms dient, hat im Verhältnis zur Grösse ihrer Höhlung eine noch engere Oeffnung, als die Mundhöhle beim Vocal U. Beim Brummen eines Tones treten deshalb die Eigenthümlichkeiten des U in noch gesteigertem Maasse auf. Nämlich obgleich noch Obertöne da sind, und sogar noch ziemlich hoch hinaufreichen, so nehmen sie nach der Höhe hin noch viel schneller ab als beim U."

Pfeifen

Das Pfeifen mit dem Munde kann man weder den Stimm- noch den Flüsterphänomenen zuordnen. Es nimmt unter den Schallproduktionen eine Sonderstellung ein. Zur Entstehung der Pfeiftöne schreibt Gutzmann/13: "Die Pfeiftöne beim Lippenpfeifen erzeugen wir so, daß zwei Engen gebildet werden; die erste Enge, welche die Exspirationsluft beim Pfeifen passiert, liegt zwischen Zungenrücken und hartem Gaumen, die zweite zwischen den Lippen... Die Tonhöhe verändern wir dadurch, daß wir, wie wir das leicht fühlen können, den Zungenrücken heben. Je höher er gehoben wird, desto höher klingt der entstehende Pfeifton."

Stumpf/39 leitet das Pfeifen aus dem Hauchen ab: "Aus dem Hauchen wird ein Pfeifen, sobald die Lippen einen so engen Kanal bilden, daß ein Labialpfeifton entsteht, der nebenher von Geräuschen begleitet ist. Beim U und Ü ist dazu nur eine geringfügige Veränderung erforderlich, eine etwas größere bei I. Daher kommt es, daß die entste-

henden Pfeiftöne eine unverkennbare Ähnlichkeit mit den genannten Vokalen haben." Wir sind der Ansicht, daß das Pfeifen, wenn man nach der Öffnung der Stimmritze fragt, eher vom Flüstern hergeleitet werden muß, weil man von der Flüsterstellung des Kehlkopfes mühelos zum Pfeifen übergehen kann.

Da direkt oberhalb der Stimmritze beim Pfeifen keine Möglichkeit der Wirbelbildung besteht, bildet sich die Turbulenz erst am inneren Rand der Lippenöffnung. Auf diese Weise wird der von Zunge-, Lippen-, Zähnen- und Gaumen gebildete Hohlraum zu Eigenschwingungen angeregt. Wir sind mit Gierke/11 nicht einer Meinung, daß dabei auch die Luft des Rachens und des Kehlkopfraumes in Schwingung versetzt wird. Das könnte zwar bei tiefen Pfeiftönen der Fall sein, aber gerade hier sieht man, wie sich die Zunge mehr und mehr im hinteren Drittel der Mundhöhle zusammenballt und gegen das Gaumendach stemmt.

Bildet man mit den inneren Handflächen einen fest verschlossenen Hohlraum, wobei nur zwischen den eng zusammengelegten Daumen eine kleine Öffnung bestehen bleibt, so kann man diesen wie eine Pfeife anblasen. Die so erregten tiefen Eigenfrequenzen sind im Klangcharakter den mit dem Munde hervorgebrachten Pfeiftönen zum Verwechseln ähnlich. Das Volumen entspricht bei gleicher Tonhöhe dem der Mundhöhle. Behält man nämlich die Pfeifstellung des Mundes bei und füllt sie mit Wasser, so paßt diese Menge genau in den Hohlraum zwischen den Handflächen. Dieser einfache Versuch zeigt, daß die Mundhöhle in sich schon groß genug ist, um die tiefsten beim Pfeifen hervorgebrachten Eigenfrequenzen anzuregen. Das läßt sich ebenfalls durch das Schnalzen mit der Zunge nachweisen. Beim Schnalzen entsteht ein Implosionsknall, der die veränderliche Mundhöhle zu den verschiedensten Tonhöhen herauszufordern vermag. Die tiefsten geschnalzten Töne entsprechen den tiefsten gepfiffenen. Beim Öffnen des Mundes sieht man beidesmal die gleiche Zungenstellung.

Während die Austrittsöffnung zwischen den Lippen bei dem gewöhnlichen Pfeifumfang fast konstant ist, sind wir

manchmal in der Lage, bei starker Verengung der Lippen im vordersten Teil des Mundes noch höhere Töne hervorzubringen. Dazu ist aber eine Umbildung der Lippenmuskulatur notwendig. Barth, Auerbach, Abraham und Grützner haben einen Pfeif-Ambitus von a/1 bis c/5 beobachtet.

Die vollständige Unabhängigkeit des Singens vom Pfeifen hat D. Weiss/43 sehr einleuchtend geschildert. Er beschreibt einen Herrn B, der zu gleicher Zeit drei verschiedene Tonhöhen erzeugen konnte: "Beim dreistimmigen Musizieren, also beim Doppelpfeifen und gleichzeitigen Singen bemerkte man, daß die obere Pfeif- und die Singstimme eine selbständige Rolle spielen, die zweite Pfeifstimme dagegen sich meist etwa in der Entfernung einer Terz von der ersten Pfeifstimme befindet, also musikalisch als 'Füllstimme' verwendet wird. Auf die Frage, ob er nicht ein Lied auch wirklich dreistimmig (im Sinne der gegenseitigen Unabhängigkeit der einzelnen Stimmführungen) musizieren könne, antwortete Herr B. sehr charakteristisch: 'Das geht mit dem Kopf nicht aus. Höchstens könnte ich, da ich jeden beliebigen Dreiklang produzieren kann, ein dreistimmiges Musikstück als Akkordfolge einstudieren; gleichzeitig kann ich nämlich nur zwei Melodien verfolgen'."

Mutation

Der Stimmwechsel ist, wenn er normal verläuft, keine pathologische, sondern eine physiologische Erscheinung. Durch das starke organische Wachstum im allgemeinen und das rapide des Kehlkopfes im besonderen werden in der Zeit der Geschlechtsreife vorübergehend funktionelle Störungen verschiedenen Ausmaßes hervorgerufen. Der Laryngologe beobachtet während der Mutation besonders beim Mann ein oft ungleiches Längen- und Dickenwachstum der beiden Stimmlippen; er sieht ein "Mutationsdreieck", d.h. ein Klaffen meist im hinteren Drittel der Stimmritze, etwas Schleimvermehrung, sowie Rötungen und Schwellungen. (Gutzmann/17). Beim Mann muß im Kehlkopf Raum für eine Längenzunahme der Stimmlippen

um 1o mm, bei der Frau dagegen nur um 3 bis 4 mm geschaffen werden. Der Unterschied zeigt sich am Schildknorpel des Kehlkopfes (Adamsapfel). Die Länge der Stimmlippen beträgt schließlich beim erwachsenen Mann 17 - 25 mm, bei der Frau 14 - 19 mm (Zimmermann).

Von Huizinga wird berichtet, daß er statistisch eine sprunghafte Zunahme der Weite der Trachea und der beiden Hauptbronchien zwischen 13 bis 14 und 15 bis 17 Jahren nachweisen konnte. D. Weiss/45 vermutet dabei ein dem Wachstum des Kehlkopfes in der Mutation entsprechendes Phänomen an den unteren Luftwegen, was einiges zur Erklärung der Mutationserscheinungen der Stimme beitragen könne.

Die Folgen der gestörten Koordination des Kehlkopfes in sich und des Kehlkopfes zum übrigen Organismus sind beim Mann bekannte Erscheinungen wie Heiserkeit und Umkippen der Stimme (Stimmbruch) aus der noch ungewohnten Tiefenlage in die Höhe und umgekehrt (Akust. Beisp. 7). Nach der Mutation ist die untere Stimmgrenze des Mannes um eine Oktav, die der Frau etwa um eine Quarte gesunken. Da der Stimmwechsel bei der Frau weniger auffällig in Erscheinung tritt, wollen wir uns bei unseren Untersuchungen auf das männliche Geschlecht beschränken.

In letzter Zeit wurde auch beim Stimmwechsel die allgemein beobachtete Entwicklungsbeschleunigung (Acceleration) eingehend untersucht. Die neuesten Ergebnisse entnehmen wir einem Sonderdruck "Entwicklungsbeschleunigung und Stimmwechsel" von A. Schilling/32. Danach hat 1) die Körpergröße zwischen 8 und 18 Jahren seit 1929 um durchschnittlich 11,2 cm zugenommen. 2) 19oo wurden die ersten Anzeichen des Stimmwechsels bei 11-jährigen, 196o schon bei 9-jährigen registriert. 3) Der Höhepunkt der Mutation (beurteilt nach den Kriterien der Singstimme) ist seit 19oo um ein Jahr vorgerückt, nämlich vom 15. in das 14. Lebensjahr. 4) Der loo %ige Mutationsabschluß ist heute im 18. Lebensjahr erreicht, während um 19oo noch 13,8 % in diesem Alter mutierten.

Über die Beziehung der Mutation zur Geschlechtsreife wissen wir von R. Schilling/33, daß sie in 47 % der untersuchten Fälle gleichzeitig eintrat, in 15 % vorher und in

38 % nachher, wobei in beiden Fällen Unterschiede bis zu drei, einmal sogar fünf Jahren vorkamen. Zwischen Körpergröße und Stimmlage fand R. Schilling eine deutliche Korrelation: Mit zunehmender Körpergröße mehrten sich die tiefen Stimmlagen, mit abnehmender Körpergröße die hohen Stimmlagen.

Angaben über die Dauer des Stimmwechsels macht der gleiche Autor: Zwei bis drei Monate dauerte er bei lo % der untersuchten Fälle, ein halbes Jahr bei 31 %, ein bis eineinhalb Jahre bei 28 %, eineinhalb bis zweieinhalb Jahre bei 21 %, drei Jahre bei 7 % und mehr als drei Jahre bei 3 %. Er fand unter den 'milden' Verlaufsformen alle Dauern von 2 Monaten bis 6 Jahren und unter den 'stürmischen' die Verlaufsdauern von einem halben Jahr bis zu 4 Jahren, wobei er 8o % milde und 2o % stürmisch verlaufende Fälle vorweist. Mit der Bezeichnung 'stürmisch' und 'milde' ist der Störungscharakter gemeint.

Was die Stimmgattungen anbelangt, so ist man sich jetzt einig, daß über ihren Verlauf nichts Bindendes vorausgesagt werden kann. Aus der Statistik über die Vererbung der Stimmlage von F. Bernstein/4 ist ein natürliches Verhältnis von Baß : Bariton : Tenor = Sopran : Mezzosopran : Alt wie 9 : 12 : 4 bekannt. Fassen wir dabei Bariton und Baß, sowie Mezzosopran und Alt zusammen, so verhalten sich Sopran : Alt ungefähr wie 1 : 2 und Tenor : Baß wie 1 : 5. Das bedeutet, daß die hohen Stimmlagen bei Mann und Frau viel seltener sind als die tiefen. Aus diesen Zahlen geht die Verteilung bei männlichen Sopran- und Altstimmen nicht hervor. Wenn aber die Auswahl der Jungen, deren Mutationsverlauf uns aus der Literatur bekannt ist, vor dem Stimmwechsel zufällig war, so muß das Ergebnis der Männerstimmen die Bernstein'sche Forderung wenigstens annähernd erfüllen.

Der Vergleich soll mit Daten von Ekstrom/8, R. Schilling und Behnke-Braun, veröffentlicht bei R. Schilling/33, vorgenommen werden. (Tab. 1).

	Zahl der Vp.	Sop.Alt		aus Sopran wurde Ten.Baß		aus Alt wurde Ten.Baß		Ten.Baß	
Bernstein		36%	64%					16%	84%
Behnke-Braun	266	67%	33%	38%	62%	36%	64%	37%	63%
Schilling	124	8o%	2o%	26%	74%	26%	74%	26%	74%
Ekstrom	213	28%	72%	41%	59%	19%	81%	3o%	7o%

Tab. 1. Verlauf der Stimmgattungen bei 266,124 und 213 Mutanten (Vp.), bezogen auf die Verhältniszahlen von F.Bernstein.

Man sieht, daß die Versuchspersonen von Ekstrom der Normalverteilung aller Sopran- und Altstimmen am nächsten kommen, daß sie sich bei Schilling und Behnke-Braun jedoch genau umgekehrt verhalten. Demzufolge müßten sich auch die Ergebnisse auffallend unterscheiden. Das ist nicht der Fall. Die Tenor-Baß-Verhältnisse sind in allen drei Versuchsreihen sehr ähnlich, sind jedoch mit der Bernstein'schen Forderung überhaupt nicht in Einklang zu bringen. Die Schlußfolgerung wäre die, daß sich Tenor : Baß wie 1 : 2 verhalten. Solange aber die Ausgangsverhältnisse der Sopran- und Altstimmen so stark streuen, besteht keine Veranlassung, Bernstein unrecht zu geben.

Nach der Erörterung der Stimmphänomene stellt sich die Frage, was in akustischer Hinsicht vom Stimmwechsel zu erwarten ist: Wird es in der Stimme, entsprechend der Physiognomie, dem Charakter oder der Schrift, auch Merkmale geben, die über die Zeit der Mutation hinaus erhalten bleiben?

Die Sing- und Sprechstimme unmittelbar vor dem Ereignis (Prämutation) wird nicht mehr die Klarheit der reinen Kinderstimme haben. Der ganze Körper des Jungen befindet sich in einem sehr starken Wachstum. Es wird zu untersuchen sein, ob die Zunahme von Körpergröße, Gewicht und Brustumfang mit der Entwicklung der Stimme korrelieren.

Kennt man das Zusammenwirken der für die Stimme verantwortlichen Teile genau, so kann man eventuell auf Grund der Veränderung im fertigen Schall Rückschlüsse auf die Veränderung des Organismus ziehen. Die klangfarblich verwandten Merkmale der Stimme vor und nach dem Stimmwechsel wird man zunächst nicht beim Sprechen oder Singen suchen, sondern zuerst beim Summen. Hier entfällt, wie wir wissen, der komplizierte Lautgestaltungsapparat weitgehend. Analysiert man Flüstern, so umgeht man zwar die Stimmtöne, aber die Beschaffenheit des oberhalb der Glottis erregten Wirbels sowie des Mundrachens und der Mundhöhle sind auch hier große Unbekannte. Nicht zuletzt bietet sich das Pfeifen an: Wenn sich die Mundhöhle verändert, muß sich auch der Ambitus der Pfeiftöne ändern.

Für die Beantwortung aller Fragen, welche die Verwandtschaft der Stimme vor und nach der Mutation berühren, ist die Tonband-Technik ein unentbehrliches Hilfsmittel. Nur durch sie sind wir in der Lage, die verschiedenen Entwicklungsphasen exakt festzuhalten und der Forschung zugänglich zu machen.

T E I L B

T O N B A N D A U F N A H M E N

Auswahl des Stimmenmaterials und Tonbandtechnik

Im Vorsommer 1964 wurden in zwei Berliner Oberschulen Wissenschaftlichen Zweiges (Gymnasien) alle Jungen ermittelt, die noch nicht im Stimmwechsel waren und sich zu einem vereinbarten Zeitpunkt für eine Tonbandaufnahme zur Verfügung stellen wollten. Obwohl die Aufzeichnungen nicht während der Schulzeit und im Schulgebäude erfolgen konnten, war das Interesse der Jungen im allgemeinen groß und wurde oft durch die Förderung der Musiklehrer erheblich gesteigert.

Von den 1o6 Jungen, deren Stimmen aufgenommen wurden, war der Großteil aus den 7. und 8. Klassen. Nur vereinzelt fanden sich in den 9. und 1o. Klassen männliche Sopran- oder Altstimmen. Bei den Auswertungen war es zwecklos, die Schüler nach Klassen zu trennen, da diese durch Sitzenbleiben und Schulwechsel oft überaltert waren.

Die Auswahl der Jungen wurde versuchsweise vom Musiklehrer am Klavier vorgenommen. Diese Methode bewährte sich schon bei der ersten Klasse nicht, war zu umständlich, zeitraubend und führte oft zu falschen Rückschlüssen. Es zeigte sich, daß besonders die obere Singgrenze um die Zeit der Mutation kein zuverlässiges Kriterium für die Stimmgattung ist. Da die Stimme beim gewohnten Sprechen am meisten entspannt ist und der Musikalitätsgrad zunächst belanglos war, wurde den Jungen fortan nur ein einfacher Satz zum Vorlesen gegeben. Zusammen mit dem äußeren Eindruck (Bartwuchs, Kehlkopfansatz) war das völlig ausreichend. In Zweifelsfällen wurde der Junge zur Aufnahme bestellt.

Im Vorsommer 1965, also genau ein Jahr später, gingen von den 1o6 Jungen, die den Termin I wahrgenommen hatten, noch 1o1 in die gleichen Schulen. Sie wurden alle einzeln auf ihren stimmlichen Entwicklungsstand hin geprüft. Dabei stellte sich heraus, daß es bei 59 Schülern sinnvoll

war, sie zum Aufnahmetermin II zu bestellen.

Alle Tonbandaufnahmen wurden mit den gleichen Aufgabestellungen in der Tonregie der Freien Volksbühne Berlin hergestellt. Der Aufnahmeraum hatte etwa die Größe 2 : 2 : 2 Meter, war an allen Begrenzungsflächen mit stark schalldämmendem Material ausgestattet und konnte vom Regieraum aus durch ein kleines Fenster beobachtet werden. Die Jungen wurden vor ein Pult gesetzt, das je nach der Phonationsart einen optimalen Abstand vom Mund zum Mikrofon ermöglichte.

Die technische Apparatur (Fig. 6) war so unkompliziert wie möglich. Die Spannung des im Aufnahmeraum befindlichen Kondensatormikrofons CM 64 (Schoeps) wurde von zwei Vorverstärkern V 77 (Siemens) angehoben und einem Tonbandgerät M 5 (Telefunken) zugeführt. Zwei Regelglieder W 77 (Siemens) und W 68 (Eckmiller) dienten dem Ausgleich der unterschiedlichen Lautstärkeproduktion. Bei allen Erstkopien wurden zugunsten der Klangtreue die Höhen bei 10 k Hz um 12 dB angehoben (W 86/Eckmiller). Diese Entzerrung war durch die Bevorzugung der tiefen Frequenzen des sehr klein dimensionierten Aufnahmeraums unerläßlich. Die Aufnahmen und Kopien konnten mit einem 6 Watt-Lautsprecher und einem Aussteuerungsmeßinstrument (U 71c/ J 45b von Siemens) an den Punkten 1 - 4 kontrolliert werden. Die nicht übermäßig dichte Trennwand erlaubte zwar kein "Hinterband"-Abhören, ließ aber einen direkten Sprechkontakt mit den Jungen zu.

Alle Originalaufnahmen wurden mit der Geschwindigkeit 19 cm/sec. Vollspur auf Tonband (LGR/BASF) aufgezeichnet. Kopien wurden für die Schnitte mit 38 cm/sec. vom Original überspielt und davon je nach Bedarf Zweitkopien hergestellt.

Tonbandaufnahme und Protokoll

Jeder der 106 Jungen erhielt schon in der Schule eine Kennziffer zugeteilt, die - stellvertretend für den Namen - über den Zeitraum der Tonbandaufnahmen erhalten blieb. Die Personalien wurden aus den Klassenbüchern und Karteien ent-

nommen und bei der persönlichen Begegnung nur vervollständigt. Dadurch wurde der Kontakt zu den Schülern erheblich erleichtert. Bei 26 % der Jungen sind Sprachfehler beobachtet worden. Dabei handelte es sich in den meisten Fällen um mehr oder weniger starkes Lispeln (Sigmatismus). Diese Nachlässigkeit beim Sprechen ist in Berlin zwar dialektisch bedingt (Gutzmann), sie ist aber doch eine Eigenart, die man sehr leicht wiedererkennen kann. Bei den 59 Jungen im zweiten Durchgang waren erstaunlicherweise nur noch 15 % mit fehlerhafter Aussprache zu finden, und nur ein Junge stieß besonders stark mit der Zunge an die Zähne an (Akust. Beisp. 5). Das deutet darauf hin, daß während der Mutation die Stimmkultur gefördert wird.

Im Folgenden wird nur das beschrieben, was von den Aufzeichnungen unmittelbar zu den Ergebnissen der Arbeit beigetragen hat. Ferner soll jetzt mit einigen besonders vermerkten Ausnahmen nur noch von den 59 Jungen die Rede sein, die auch am zweiten Aufnahmetermin beteiligt waren und damit die notwendigen Vergleichswerte erbracht haben.

Vor den Tonbandaufnahmen wurden die Personalien kontrolliert und Gewicht, Körpergröße sowie der Brustumfang gemessen. Außer dem Aufnahmedatum und der genauen Zeit wurden bei jedem Jungen die musikalische Vorbildung und Ausübung ermittelt. Dann wurde nach Defekten oder operativen Eingriffen im Stimm- und Gehörorganismus und der gegenwärtigen Disposition gefragt. 81 % waren in Berlin geboren, die restlichen 19 % wohnten im Durchschnitt seit über 9 Jahren in der Stadt. Das berechtigte, die Schüler dem Dialekt nach gleichzusetzen.

In Normalsprache hatte sich jeder Junge zunächst auf Tonband zu identifizieren: Kennziffer, Aufnahme I oder II, Datum und Zeit. Dann: 'Mein Name ist..., ich bin am... in... geboren. Mein Vater heißt..., meine Mutter...' Jetzt folgten die Vokale a,e,i,o,u so rasch wie möglich gesprochen, aber ganz exakt voneinander getrennt. Es schloß sich der konstruierte Satz an "Wenn Geist und Körper Zwietracht haben, ist alles Edle oft umsonst geplant".

Von der Flüstersprache wurden nur die Vokale a,e,i, o,u für die Untersuchungen verwendet.

Beim Singen sollte eine beliebige Tonleiter auf 'na' ab-, auf- und wieder abwärts gesungen werden. Dabei wurde der physiologische Stimmumfang erfaßt, der den musikalischen mit Sicherheit einschließt. Die Jungen wurden bei allen Ermittlungen des Ambitus aufgefordert, so hoch und so tief wie möglich zu phonieren. Das galt auch für das Singen einer Gleittonreihe auf 'a'. Es folgte das Volkslied 'Fuchs, du hast die Gans gestohlen', wobei sich jeder Junge den Initialton und die Geschwindigkeit (Tempo) selbst aussuchen konnte. Dann sollten Tonleiter, Gleittonreihe und Lied gesummt und gepfiffen werden. Im Verlauf dieser Übungen ergab sich ein zuverlässiges Bild über die Musikalität der Jungen. (Tab. 3).

Zuletzt wurde zur Bestimmung der mittleren Sprechtonlage nach dem Beispiel von A. Schilling/32 vorgegangen: "In unklaren Fällen wurde der mittlere Sprechton nach der Kaumethode von Fröschels ermittelt, indem man das Kind aufforderte, stimmhaft zu kauen. Der so festgestellte sog. 'Kauton' liegt etwa einen Halbton unter der Indifferenzlage (Krech, Orthmann)." Schilling versteht unter "Indifferenzlage" die mittlere Sprechtonlage, Lullies/25 wendet den Begriff auf die A-Stellung des Mundes an. Dieser Terminus wird daher von uns nicht mehr benutzt.

Rangordnung und Stimmumfänge

Das gesamte Tonbandmaterial umfaßte 106 + 59 = 165 Bestandteile. Davon waren 47 Einzelaufnahmen für die weiteren Untersuchungen belanglos und wurden in der Reihenfolge ihrer Kennziffern beiseitegelegt. Die übrigen 59 Jungen, welche die Aufnahmetermine I und II absolviert hatten, sollten jetzt sinnvoll geordnet werden. Um diesem Ziel näher zu kommen, mußte eine Rangordnung aufgestellt werden, die dem verschieden ausgeprägten stimmlichen Entwicklungsgrad der 59 Jungen Rechnung trug.

Die flüchtige Beobachtung in den Schulen schloß die Möglichkeit nicht aus, daß sich ein Schüler bei Termin I schon im Stimmwechsel befand; er war dann, selbst wenn er bei II aus dem Wechsel heraus war, kein echter "Vor-Nach-Fall". Ferner konnte infolge der geringen Beobachtungszeit von einem Jahr nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden, ob ein Junge nicht doch noch im Laufe seiner anschließenden Entwicklung eine echte Baßlage bekommen würde. Die dritte Überlegung war, daß der größte zwischen I und II feststellbare Unterschied in der Stimme die beste Annäherung an den wirklichen Unterschied der individuellen Kinder- und späten Mannesstimme sein würde. Daraus folgt, daß die Häufigkeiten unserer Rangordnung dem stimmlichen Unterschied von I und II entsprechen mußten und mit Rang 1 der Junge gesucht wurde, dessen Stimme sich in einem Jahr am meisten geändert hatte. Wollte man diese Veränderungen ausschließlich auf Klangfarben begründen, so wäre die Gefahr der Fehlurteile besonders groß. Es müßten dazu 59 Paare miteinander verglichen werden und die Parameter der Stimme würden unendlich viele subjektive Deutungen zulassen. Diese Unsicherheit wurde umgangen, indem zur Auffindung einer objektivierten Rangordnung die Tonhöhen der Sprech- und Singstimme und des Kautons in die engere Wahl genommen wurden.

Emil Fröschels/10 führt den Ursprung der Stimmgebung beim Kleinkind auf Kaubewegungen des Mundes zurück. Mit und ohne Kaugut (Brot, Apfel etc.) entstehen beim Wohlbefinden die Stimmtöne in der natürlichen Lage. Er schreibt: "Die Kaumethode hat sich als besonders wirksame und erfolgreiche Methode zur Behandlung der Überfunktion des Stimmapparates erwiesen. Sie wird deshalb zur Vorbeugung von ernsthaften Stimmschwierigkeiten sehr empfohlen. Diese Methode kann in Kindergärten, Oberschulen und Universitäten so gut wie in Berufsgruppen eingeführt werden." Es war für uns die Frage, ob die Bestimmung des Kautones eine Gewähr für die Entwicklung der Stimme ist. Bei der Aufforderung, 'stimmhaft zu kauen', ergaben sich nämlich schon während der Tonbandaufnahme Schwierigkeiten. Die Jungen waren verständlicherweise zunächst hilflos, führten dann aber, als

man es ihnen näher erklärt hatte, vor dem Mikrofon die verschiedensten Schmatz- und Grunzlaute aus. Oft reichte auch die Beschreibung nicht aus, und das Vormachen konnte dann leicht zur Übernahme der Tonhöhe führen. Da der Kauton in keinem Fall "indifferent" ist, sondern mindestens bis zu einer Terz schwankt, mußten notgedrungen Mittelwerte gebildet werden.

Die obere Grenze der Singstimme bietet, wie schon angedeutet wurde, in der Zeit der Mutation keine Gewähr für die Ermittlung der Stimmgattung. Die untere Grenze ist verwendbar, wenn alle Jungen ihren Ambitus auch wirklich 'aussingen'. Da aber von den 59 Jungen 1o % weniger musikalisch und 14 % ganz unmusikalisch (Tab. 3) waren, konnte trotz der erheblichen Bemühung, die tiefsten und höchsten Töne ausfindig zu machen, das Singen der Rangordnung nicht zugrunde gelegt werden. Es wurde nach einer Möglichkeit gesucht, den direkten Einfluß der Jungen auf die Tonhöhen- und tiefengebung ganz auszuschalten.

Beim Sprechen befindet sich die Stimme am ehesten in ihrer Normallage. Sie ist am meisten entspannt und fällt, wie man leicht beobachten kann, am Satzende immer wieder auf die gleiche Tonhöhe zurück. Diese untere Grenze des Sprechumfangs soll "Sprechfundament" genannt werden. Es gibt viele Männer, deren mittlere Sprechtonlage weit über dem Sprechfundament liegt. Das ist der Grund, weshalb bei Satzanfängen oder beim gehobenen Vortragen hin und wieder Frauen- und Männerstimmen nicht voneinander unterschieden werden können. Achtet man jedoch auf das Kadenzieren der Stimme am Ende eines Satzes oder Abschnitts, so ist, handelt es sich nicht um pathologische Fälle, sofort das eigentlich Männliche herauszuhören. Da wir bei unseren Jungen ganz speziell auf der Suche nach dem "Männlichen" waren, schien es sinnvoll, die erstrebte Rangordnung nach dem Sprechfundament vorzunehmen. (Anm. 1)

Fig. 7 und Tab.2 bringen das Ergebnis. Auf der Abszisse der Fig.7 finden wir die Ränge 1 - 59, auf der Ordinate das am Klavier in der Genauigkeit von Halbtönen ermittelte Sprechfundament. Das obere Ende der Balken zeigt

jeweils die Tonhöhe bei Aufnahmetermin I, das untere Ende bei Termin II. (Ausnahmen bestehen nur dann, wenn sie wie z.B. in Fig. 8 mit einem Pfeil nach oben vermerkt sind.) Die Plus-Zeichen besagen, daß die Sprechlage in diesem Jahr konstant geblieben ist. War der Unterschied bei mehreren Jungen gleich groß, so bekam der den höheren Rang, bei dem die Differenz der unteren Singgrenze (Tab.2) größer war. Führte auch das nicht zum Ziel, so wurde eine von uns selbst angefertigte Bewertung der Klangunterschiede der Sprechstimmen (Tab.2) herangezogen. Schließlich hatten die beteiligten Ränge das gleiche Recht, und der Zufall entschied über die Reihenfolge.

Die so mit dem Sprechfundament gefundenen Ränge 1 - 59 (Akust. Beisp. 1) ergeben einen außerordentlich verschiedenen Entwicklungsverlauf. Rang 1 ist von g bis Fis (13 Halbtöne) gesunken, Rang 59 hat sich in der Sprechtonhöhe gar nicht verändert. Rang 29 z.B. hat bei Termin II wohl die Tiefe des Rang 1, war aber ein Jahr zuvor bereits auf c, mutierte also damals schon.

Allen weiteren Untersuchungen wurde die Rangordnung als Abszisse zugrunde gelegt. Dadurch ließen sich auch die auf Grund des Singens und des Kautones festgestellten Veränderungen sofort vergleichen.

Fig. 8 zeigt die unteren Grenzen, die dem Singen und Summen der Tonleitern und Gleittonreihen entnommen wurden. Der tiefste gesungene Ton lag nur einen Ganzton unter dem tiefsten Sprechfundament. Die größte Differenz hat auch hier der Rang 1 mit 14 Halbtönen. Selbstverständlich ergaben sich Abweichungen von Fig. 7. Sie sind in Fig. 9 zusammengefaßt. Bei Termin I fallen die Grenzen in 1o, bei II in 16 Fällen und hier sehr oft in den höchsten Rängen zusammen. Das bedeutet, daß das Sprechfundament nach der Mutation mit der unteren Singgrenze übereinstimmt. Vor und während des Stimmwechsels ist die Abweichung größer, sie kann bis zu 6 Halbtönen betragen (Rang 2o). Einige Ausnahmen fallen auf. 1) Rang 29 erreichte bei beiden Terminen gesungen das B, seine untere Sprechgrenze schwankte dagegen von fis bis c, also 6 Halbtöne. Hier war beim Sprechen nicht die größte

Entspannung der Kehlkopfmuskulatur festzustellen. 2) Bei Rang 31 und 37 lag das Sprechfundament geringfügig unter der unteren Singgrenze. In beiden Fällen wurde unabhängig davon das Prädikat 'unmusikalisch' erteilt, d.h. die beiden Jungen hatten nur eine vage Vorstellung vom Tonleitersingen. Rang 36 war musikalisch, wich aber bei II minimal vom Normalen ab. 3) Rang 58 und 59 zeigen durch die nach oben weisenden Pfeile, daß sich die untere Singgrenze bei II nach oben verschoben hat. Das kommt, wie wir später noch sehen werden, hin und wieder auch bei der oberen Singgrenze vor.

Der Vergleich mit dem Kauton (Fig.lo) ist recht unbefriedigend. Rang 13 hat nur noch einen Unterschied von 3 Halbtönen. Schon bei Rang 36 geht der Pfeil nach oben, bei Rang 53 sogar 6 Einheiten. Insgesamt wurde bei 8 Jungen festgestellt, daß ihre Kautöne bei II höher lagen als bei I. Rang 35 ergab noch eine Differenz von lo, beim Sprechen waren es 5, beim Singen nur 3 Halbtöne.

In Fig. 11 und Fig. 12 sehen wir die Entwicklung des oberen und des unteren Stimmumfangs in Abhängigkeit vom Rang. Während bei der unteren Grenze die Differenz immer kleiner wird, zeigt sich in der oberen Singbegrenzung erst etwa ab Rang 43 eine entsprechende Tendenz. Die größten Senkungen (Fig. 12) häufen sich in den mittleren Rängen. Am Ende der Verteilung kommt es nicht selten vor, daß sich die Singgrenze nach oben erweitert hat. (Pfeile). Nimmt man alle 59 Jungen zusammen, so läßt sich die Senkung der oberen physiologischen Singgrenze mit 7,5 Halbtonstufen errechnen. Der physiologische Gesamtumfang (Tab. 3 und Fig. 12) beträgt bei Aufnahme I durchschnittlich 29, bei II 26 Halbtöne, also nur eine kleine Terz weniger.

Es ist nie erwogen worden, den Initialton des gesungenen Volksliedes einer Rangordnung zugrunde zu legen. Jedoch ist aus Tab. 3 zu entnehmen, daß mit dieser Methode die stimmliche Entwicklung gut verfolgt werden kann. Forderte man die Jungen auf, das sehr bekannte Lied zu singen, so setzten sie spontan in der Tonlage ein, in der sie am angenehmsten singen konnten. Die Jungen, welche sich verschätzt hatten, wiederholten oft ohne Hinweis in der richti-

gen Lage. Die Sonderfälle in Tab. 3 können ausnahmslos begründet werden: Rang 4o (Akust. Beisp. 6) war unmusikalisch und hatte für wechselnde Tonstufen keinen Sinn. Die Ränge 7, 13, 17, 34 und 57 waren alle sehr musikalisch und bei Termin I durch das Sopransingen in Schul- und Knabenchören an die besonders hohe Stimmlage gewöhnt.

Die Pfeifumfänge (Tab. 4) bringen sehr wichtige Ergebnisse. Die Differenz zwischen den gepfiffenen Tönen bei Aufnahme I und II ist im Vergleich zu den gesungenen (Tab. 3) sehr gering, obwohl auch die Befähigung zum Pfeifen außerordentlich schwankt. Das zeigt sich schon an den vier Jungen, die überhaupt nicht oder nicht normal pfeifen konnten. Rang 37 pfiff nur inspiratorisch. Rang 31 war ganz unmusikalisch. Rang 49 pfiff, in krassem Gegensatz zu seinen Gesangsleistungen, die Tonleiter, Gleittonreihe und das Lied auf einer einzigen Tonhöhe und schien das selbst gar nicht zu merken. Auch Rang 5o hatte beim Pfeifen keine Vorstellung für Tonbewegungen. Bei den übrigen Jungen ergaben sich geringe (z.B. Rang 1o, 24, 25, 28, 47) und große (Rang 7, 17, 29) Pfeifumfänge. Im Durchschnitt war der Ambitus bei I 21 Halbtöne, bei II 22 Halbtöne. Sieht man sich die Unterschiede der unteren Pfeifgrenze an, so fallen die vielen + Zeichen auf. Das Arithmetische Mittel von + 2 besagt, daß die 59 Jungen bei Termin II durchschnittlich um einen Ganzton tiefer gepfiffen haben. Das spricht mit Sicherheit dafür, daß sich die Mundhöhle in der Zeit des Stimmwechsels merklich vergrößert. Während sich der Umfang nach unten erweitert, verringert er sich in der Höhe um einen Halbton. Diese Veränderungen lassen keine Korrelation mit der Rangordnung erkennen und sind demnach auf das allgemeine Wachstum während der Zeit der Mutation zurückzuführen.

Alter und Körpermaße

Wie verhält sich das Lebensalter (Tab. 6 und Fig.13) unserer Jungen zur Rangordnung? Der Rangerste ist etwa so alt wie der Rangletzte, ist aber einer der jüngsten. Andererseits hat der mit großem Abstand Älteste - er war im April 1964 15 1/2 Jahre - 'nur' den Rang 17 erreicht. Zwischen dem 13. und 16. Lebensjahr kann also keine sichere Voraussage über den Verlauf des Stimmwechsels gemacht werden.

Aus der Altersverteilung ergibt sich bei 59 Jungen ein Mittel von 13 1/2 Jahren für den ersten, für den zweiten Termin demzufolge von 14 1/2 Jahren. Jedoch hatten gerade die Mehrzahl der hohen Ränge, also die stimmlich Fortschrittlichsten, ihre Tiefenlage schon mit 14 1/2 Jahren erreicht. Sie sind, nimmt man Rang 1 - 14, bei Aufnahme I erst 13 1/4 Jahre alt. Mittelt man die Zeit zwischen den Terminen, so darf man für die Rangersten den Höhepunkt des Stimmwechsels mit 13 3/4 Jahren annehmen. Das stimmt mit den Beobachtungen von A. Schilling überein. Da aber das Mittel aller Jungen 14 Jahre ist und ein Teil davon die Mutation noch gar nicht hinter sich gebracht hat, müssen wir die Überalterung auf die vergleichsweise geringe Anzahl der untersuchten Personen zurückführen.

Setzt man die Körpergröße in Beziehung zum Rang (Fig. 14), so sieht man innerhalb von ca. 4o Zentimetern eine sehr starke Streuung. Die durchschnittliche Größensteigerung (Fig. 15) bei allen Jungen ist 9 cm, und die Rangersten haben mindestens diesen Wert. Etwa von Rang 2o an wechseln sich kleine Zuwachsbeträge mit größeren sehr rasch ab. Vergleicht man die Ränge 1 - 2o mit dem Arithmetischen Mittel, so liegen sie fast ausnahmslos darüber. Danach liegen die meisten darunter. Der Zuwachs der Körpergröße ist also in der Regel der Entwicklung der Stimme direkt proportional.

Die Einbeziehung des Gewichts (Tab. 5) bringt schon der Überlegung nach Unsicherheit: es ändert sich im Gegensatz zur Körpergröße auch mit den Lebensgewohnheiten. Im Durchschnitt haben die Jungen 8 kg zugenommen. Bildet man

das Produkt der Zunahmen von Gewicht und Körpergröße bei beiden Aufnahmeterminen (Fig.15), so ist immer noch die gleiche Tendenz wie in der darüberliegenden Zeichnung festzustellen. Das Mittel ist jetzt 7o kg.cm, die Streuung ist stark vergrößert worden.

Fig. 16 bildet Volumina ab, die über die Entwicklung der Stimme und zugleich über die des Körpers Auskunft geben. Auf der x-Achse ist die Zunahme des Gewichts, auf der y-Achse die der Körpergröße und auf der z-Achse die Senkung des Sprechfundaments wiedergegeben. Es fällt auf, daß die Flächen aus dem Größen- und Gewichtzuwachs annähernd quadratisch sind. Dies ist zwar nur auf den Maßstab zurückzuführen, ergibt aber die einfache Regel: Der Zuwachs an Gewicht in kg entspricht in der Zeit der Mutation annähernd dem der Körpergröße in cm.

Zuletzt wurde der Brustumfang untersucht. Fig.17 (Tab. 5) zeigt das Produkt aus den Zunahmen von Gewicht, Körpergröße und Brustumfang im Vergleich mit der Mutation des Sprechfundaments und der unteren Singgrenze. Die durchschnittliche Zunahme des Brustumfangs betrug bei 59 Jungen 4 Zentimeter. Die Streuung war dabei so groß, daß die Tendenz der Körpergrößen in Fig.15 völlig verwischt wurde.

Ergebnisse von Teil B

1. Der Entwicklungsgrad der Stimme ließ sich in der Zeit der Mutation am sichersten mit dem Sprechfundament feststellen.
2. Von 1o1 Jungen, die kurz vor dem Stimmwechsel beobachtet wurden, hatten nach einem Jahr etwa 2o ihre männliche Stimmlage erreicht.
3. In einem Jahr wurde die größte Senkung des Sprechfundaments mit 13 Halbtönen, die der unteren Singgrenze desselben Jungen mit 14 Halbtönen beobachtet.
4. Die untere physiologische Singgrenze fiel nach dem Stimm-

wechsel mit dem Sprechfundament zusammen; vor und während der Mutation lag sie durchschnittlich einen Ganzton darunter, wobei Abweichungen bis zu drei Ganztönen registriert wurden.

5. Die obere physiologische Singgrenze senkte sich in der Zeit des Stimmwechsels (unabhängig von der unteren Grenze) um eine kleine Sext.
6. Der physiologische Stimmumfang betrug vor der Mutation 29 Halbtöne, nach einem Jahr umfaßte er (unabhängig von der Senkung der unteren Grenze) nur noch 26 Halbtöne.
7. Die untere Grenze des Pfeifumfangs war ein Maß für das Wachstum der Mundhöhle.
8. Zwischen dem 13. und dem 16. Lebensjahr war es nicht möglich, vom Alter der Jungen auf ihre stimmliche Entwicklung zu schließen.
9. Der Zuwachs an Körpergröße war in der Zeit der Mutation direkt proportional der Senkung der unteren Stimmgrenze.
10. Der Zuwachs an Gewicht in Kilogramm entsprach in der Zeit des Stimmwechsels annähernd dem der Körpergröße in Zentimetern.

TEIL C

ALLGEMEINER BEWERTUNGSTEST

Aufbau und Durchführung des Tests

Mit der Rangordnung war es näherungsweise gelungen, die bei der Mutation auftretenden Tonhöhendifferenzen an der unteren Grenze der Stimme festzulegen. Die subjektive Bewertung der Klangfarbe hatte nur in Ausnahmefällen entschieden. Merkmale wie Betonung, Aussprache oder Geschwindigkeit waren zunächst ganz außer Acht gelassen worden und sollten von einer großen Anzahl verschiedener Personen beurteilt werden.

Wir fragten uns: Kann man die Stimme ein und desselben Jungen vor und nach dem Stimmwechsel wiedererkennen? Wenn ja, welche Merkmale sind es, die zu ihrer Identifizierung führen?

Das Test-Tonband sollte aus zwei Teilen bestehen, dem Sprechtest und dem Singtest. Der Testsatz hieß: 'Wenn Geist und Körper Zwietracht haben, ist alles Edle oft umsonst geplant.' Das Testlied bestand aus dem Beginn von: 'Fuchs, du hast die Gans gestohlen' bis 'gib sie wieder her'. Ein Testpaar sollte jeweils den Vergleich der Stimme vor (I) und nach (II) der Mutation enthalten. I und II sollten aber nicht nur derselben, sondern auch verschiedenen Personen angehören. Auf diese Weise entstanden "echte" und "unechte" Stimmenpaare. Ein echtes Paar enthielt den Testsatz oder das Testlied desselben Jungen, einmal vor und einmal nach dem Stimmwechsel, ein unechtes Testpaar war aus Tonbandteilen von zwei verschiedenen Jungen zusammengesetzt.

Da wir die Frage allgemein gestellt hatten, war jeder interessierte Erwachsene als Testteilnehmer willkommen. In acht Gruppen machten insgesamt 1oo weibliche und männliche Ober- und Unterprimaner (87), Studenten (9) und Musiklehrer (4) bei dem Test mit. Die Länge des Testbandes war einmal durch die Dauer der Schulstunden und zum andern durch die Ermüdung bei derartigen Hörleistungen eingeschränkt.

Den Voruntersuchungen zufolge konnten ohne Pause nicht mehr als 5o Testpaare zur Beurteilung angeboten werden. Somit stand von vornherein fest, daß nicht mehr als 7 Jungen für den Aufbau des Tests in Frage kamen. Da die Spitze unserer Rangordnung von den Jungen angeführt wird, bei denen sich das Sprechfundament in einem Jahr am meisten gesenkt hatte, sollten Rang 1 - 7 als "Vor-Nach-Fälle" den Vorzug erhalten. (Anm. 2). Keiner dieser Jungen mußte wegen auffallender Unmusikalität ausgeschieden werden.

Bildet man aus 7 mal I und 7 mal II alle möglichen Kombinationen I + II, so ergeben sich 7 . 7 = 49 Möglichkeiten der Paarbildung. Von diesen 49 Paaren sind 7 echt und 42 unecht. Jede Kombination ist gleichberechtigt, und die Ermittlung der echten Paare würde keine Schwierigkeit bereiten, wenn genügend individuelle Merkmale zu ihrer Erkennung beitragen würden.

Die Testpaare erhielten fortlaufende Nummern, die sich beim Sprech- und Singtest aus zwei verschiedenen Zufallsreihen ergaben. Der jeweiligen Paarankündigung (1-49) auf dem Tonband folgte eine Sekunde Pause zur Konzentration, dann kamen I + II dicht hintereinander, zuletzt schloß sich eine Pause von fünf Sekunden für das Urteil an. Bei 49 Paaren ergaben sich für den Sprech- und den Singtest je eine Dauer von weniger als 15 Minuten. Vor dem Test wurden lärmgeschützte und nachhallarme Räume in den Schulen ausfindig gemacht. An das Tonbandgerät war ein auf ein Stativ montierter 6-Watt-Lautsprecher angeschlossen.

Die Testteilnehmer waren weder mit der speziellen Aufgabenstellung noch mit der Technik eines Tests vertraut und mußten zunächst darüber aufgeklärt werden. Dann wurden Testpapiere ausgeteilt, die die Nummern 1 - 49 und dahinter Kästchen enthielten, in die ein Plus- oder Minuszeichen eingetragen werden konnte. Ein Urteil + bedeutete die Erkennung eines echten, ein Urteil - die eines unechten Paares. Auf diese Weise entstanden:

1) richtige Urteile + : I + II gehören zum gleichen Jungen und sind als echtes Paar erkannt worden.

2) richtige Urteile - : I + II gehören zu verschiedenen Jungen und sind als unechtes Paar erkannt worden.

3) falsche Urteile + : I + II gehören nicht zum gleichen Jungen, die Testperson war aber der Ansicht, daß es ein echtes Paar war.

4) falsche Urteile - : I + II gehören zum gleichen Jungen, die Testperson hat das echte Paar nicht erkannt.

Da die Aufgaben ihrer Natur nach sehr schwierig waren (Akust. Beisp. 2), mußten den Hörern Hilfestellungen gegeben werden. Es wurde vor Beginn des eigentlichen Tests das zugrundeliegende Stimmenmaterial akustisch vorgestellt: An die 7 Jungen vor dem Stimmwechsel schlossen sich die 7 Stimmen nach dem Stimmwechsel in anderer Reihenfolge an. Ferner wurde bekanntgegeben, daß von den nun folgenden 49 Testpaaren nur 7 echt seien, daß aber ohne weiteres mehr als 7 Pluszeichen vergeben werden könnten. Dadurch wurde die Zahl der abgegebenen + verringert und der Wert eines richtigen Urteiles + erhöht. Bei 7 vergebenen Plus war die Wahrscheinlichkeit nur 1/7, durch Zufall ein richtiges Urteil + zu treffen, während sehr viele + von selbst richtige Treffer mit sich brachten.

Auch bei diesem Test traten vier Erscheinungen auf, die zur Fälschung der Ergebnisse nicht unwesentlich beitragen konnten, der Abschreib-, der Schock-, der Lern- und der Ermüdungseffekt. Die beste Prophylaxe für das Abschreiben war, darauf hinzuweisen, daß die Leistungen anonym bleiben und nicht mit einer Zensur bedacht würden. Der Schock trat durch das Außergewöhnliche zu Beginn des Tests ein. Die Testperson war mit der gestellten Aufgabe noch nicht ganz vertraut und konnte die Variationsmöglichkeiten nicht sicher abschätzen. Die Folge war je nach Temperament ein Übermaß oder eine unterdurchschnittliche Zurückhaltung mit Plus-Urteilen. Das ließ sich einmal durch die schon erwähnte Vorstellung des Testmaterials, zum andern durch häufige Umstellung der Testpaar-Reihenfolge eliminieren.

Nach einer bestimmten Anzahl von Urteilen hatte der Testteilnehmer dazugelernt. Er hatte aufgrund des angehäuften Vergleichsmaterials ein besseres Urteilsvermögen. Das konnte, wie auch die Ermüdung, ebenfalls durch Umgruppierung in der Testpaarfolge ausgeglichen werden. Schließlich wurde noch die Reihenfolge Sprechtest-Singtest bei jeder Testgruppe gewechselt, so daß die genannten Effekte bei der Auswertung nicht einseitig ins Gewicht fielen.

Nach Beendigung des ersten Teils, z.B. des Sprechtests, hatte die Testperson auf ihrem Testbogen folgende Zusatzfragen zu beantworten: Nach welchen der genannten Merkmale haben Sie die Testpaare beurteilt: Geschwindigkeit, Rhythmus, Dialekt, Aussprache, Klangfarbe? Im Anschluß an diese Arbeiten wurden die Papiere eingesammelt und diejenigen für den Singtest ausgeteilt. Diese enthielten bei gleicher Anordnung die zusätzlichen Fragen: Geschwindigkeit, Rhythmus, Musikalität, Klangfarbe? Die Pause zwischen den Testabschnitten war für eine Entspannung ausreichend. Nach Beendigung des ganzen Tests und dem Einsammeln der Papiere wurden je nach Wunsch die 7 echten Paare vorgespielt.

Auswertung der Urteile

Der Test wurde von allen Teilnehmern übereinstimmend als schwer bezeichnet. Bei der Auswertung war zu berücksichtigen, daß die Personen über die Technik dieses speziellen Tests informiert worden waren. Bei jedem Urteil hatte man die Entscheidung + oder - gehabt, man wußte aber, daß von den 49 Paaren nur 7 echt sein konnten und ging mit den Pluszeichen deshalb sehr sparsam um. Das hatte zur Folge, daß die richtigen + und die richtigen - getrennt bewertet werden mußten.

Tab. 1o zeigt zunächst nur die richtigen Urteile, die abgegeben wurden. Beim Sprechtest waren es von 7 echten Paaren durchschnittlich 2,83, beim Singtest 3,33. Von den 42 unechten Paaren waren beim Sprechtest 34,06, beim Sing-

test 33,97 richtig. Die Differenz von o,5 bei den echten Paaren gibt an, daß der Singtest etwas leichter zu beantworten war. Die Erkennung der unechten Paare war in beiden Tests annähernd gleich. Ein Blick auf die Bivariable Häufigkeitsverteilung (Walker/42) gibt die Erklärung. Beim Sprechtest gab es vier Teilnehmer, die gar kein echtes Paar, und 12, die nur eines erkannt hatten. Nur einmal waren alle echten Paare angekreuzt worden. Hier wurde aber sicher viel geraten, wie die geringe Zahl von 27 erkannten unechten Paaren beweist. Die beste Leistung war in beiden Tests das Erkennen von 5 echten und 4o unechten Paaren. Jedoch gelang das jedes Mal nur einer und nicht derselben Person.

In den Tabellen 7 und 8 ist versuchsweise eine Trennung der Testpersonen in "männlich" und "weiblich" vorgenommen worden. Von den 1oo Personen waren 46 männlichen und 54 weiblichen Geschlechts. Tab. 9 gibt die Zusammenfassung. Die weiblichen Teilnehmer haben im Sing- und Sprechtest beidesmal 46 % der echten Paare erkannt. Sie lagen damit beim Sprechtest um 12 % über, beim Singtest dagegen 3 % unter ihren männlichen Kollegen. Da die Erkennung von unechten Paaren bei allen Personen gleich war, haben die weiblichen Testteilnehmer insgesamt etwas besser abgeschnitten. (Anm. 3)

Durchschnittlich wurden beim Sprechtest statt 7 1o,77 und beim Singtest 11,36 Plus vergeben. Daß selbst bei dieser hohen Zahl von + nur 4o % bzw. 48 % der echten Paare erkannt wurden, beweist die Unsicherheit der Urteilenden. Bei den 38,23 (Sprechtest) und 37,64 (Singtest) Minus- Urteilen statt 42 konnten, da die Testpersonen das Verhältnis der echten und unechten Paare kannten, durch Zufall viele richtige - getroffen werden. So waren auch jeweils 81 % dieser Urteile richtig.

Zieht man die Durchschnittswerte der richtigen Urteile zusammen, so ergibt die Erkennung von 61 % bzw. 64 % Aufschluß über die Schwierigkeit des Tests. Beim Singen ist die Stimme desselben Jungen vor und nach der Mutation zwar etwas leichter als beim Sprechen, in beiden Phonationsarten aber nur mit sehr geringer Sicherheit identifiziert worden.

1o von 1oo Testpersonen sollten getrennt ausgewertet

werden: Musikwissenschaftler und Musiklehrer. Waren bei ihnen Urteile zu erwarten, die von denen der Schüler und Studenten auffallend abwichen? Die Ergebnisse lagen wenig über dem Durchschnitt. Beim Sprechtest wurden o,47 Paare mehr erkannt, also 3,3 von 7. Beim Singtest waren es wider Erwarten nur o,17 mehr, also 3,5. Statt 34,o6 erkannter unechter Paare waren es jetzt 34,9o, die Differenz ist o,84. Im Singtest wurden 1,13 unechte Paare mehr herausgefunden, statt 33,97 also 35,1 von 42. Sucht man nach denen, die den Test am besten beantwortet hatten, so findet man sie nicht etwa bei den Spezialisten, sondern bei zwei Schülerinnen, die sich nach Aussagen der Lehrer im Musikunterricht keineswegs durch besondere Leistungen ausgezeichnet hatten.

Im Verlauf der Untersuchungen fanden sich zwei Musiklehrer bereit, den Test zu wiederholen. Beim Sprechtest urteilten beide auffallend schlechter, beim Singtest geringfügig besser, obwohl sie am Vortage auch die Auflösung, also die sieben echten Paare isoliert, gehört hatten. Das bestätigt ihre mündliche Aussage, daß der Test durch mehrfaches Hören nicht einfacher, sondern schwieriger wird. Das zerlegende und einseitige Werten der Stimmen schien weniger zum Ziel zu führen, als das spontane Erfassen des Gesamtbildes.

Zunächst war der Test nur im Sinne der richtigen Urteile bewertet worden. Nun stellt sich die ebenso wichtige Frage, welchen Paarkombinationen die loo Testenden überhaupt ihre Pluszeichen gegeben haben. Ist es doch schon der Überlegung nach möglich, daß eine Paarbildung aus unechten Teilen mehr verwandte Züge in sich trägt, als eine solche aus echten.

Fig. 18 A und Fig. 18 B geben die Antwort. Im Sprechtest haben 78 % der Testpersonen dem Testpaar 35 ein Plus gegeben. Diese Kombination aber ist gar kein echtes Paar, der Testsatz I gehört dem Rang 6, II dem Rang 2 an. Dann folgen allerdings mit etwa 5o % die echten Paare der Ränge 2,4 und 1. Rang 7 wurde nur noch von 16 % als echtes Paar erkannt. Beim Singtest sieht man eine ganz ähnliche Verteilung. Zwar hat hier das echte Testpaar 25 (Rang 2) mit 75 %

die Spitze erreicht, doch folgen noch drei unechte Paare, ehe sich die Ränge 3,1,5 und 4 anschließen. Letztere sind nur von jeder zweiten Testperson erkannt worden.

Ordnet man die Prozente, so ergibt sich der Prozentrang der Fig. 19 A für den Sprechtest und die Fig. 19 B für den Singtest. Die Hüllkurve beim Singtest verläuft etwas steiler, was noch einmal die geringfügig bessere Erkennung hervorhebt. Die echten Paare liegen zwar fast ausnahmslos im ersten Drittel der Verteilung, sie müßten aber, wären sie sicher erkannt worden, mit hohen Prozenträngen eindeutig an der Spitze liegen.

Zur Gegenüberstellung der Prozenträngе des Sprech- und Singtests (Fig.20) wurden gleiche Paarkombinationen miteinander verbunden. Die dicken Striche zeigen die 7 echten Paare. Ihre bevorzugt leichte Dekadenz deutet wieder auf das Besser-Erkennen des Singtests hin. Was aber sofort auffällt, ist der annähernd parallele Verlauf der schwarzen Balken im Gegensatz zu dem Durcheinander der übrigen Linien. Dies besagt, daß die echten Paare beim Singen und beim Sprechen gleichermaßen schlecht oder besser entdeckt wurden: Die Sprechstimmen sind mit den dazugehörigen Singstimmen in der Erkennung hoch korreliert. Fast alle unechten Paare bilden beim Vergleich steile Winkel, besonders auch die Rangkombination 6 + 2. Dieses Paar hatte beim Sprechtest den höchsten Prozentrang, während beim Singtest nur noch 1 % der Testenden an ihm etwas Verwandtes fand.

Auswertung der Erkennungsmerkmale

Wenn Paarkombinationen mit einem Plus versehen worden waren, so mußten ein oder mehrere Merkmale zu diesem Urteil beigetragen haben. Tab. 11 gibt die Aufschlüsselung. Nur 10 % bzw. 9 % der Testpersonen hatten sich auf ein einziges Merkmal berufen. Die meisten waren der Ansicht, daß man eine Stimme an oder erst mit vielen Merkmalen wiedererkennen könne. Wir hatten die wenigen Kriterien so ausgewählt, daß eine Definition und Debatte möglichst umgangen werden konnte.

22 % entschieden sich beim Sprechtest für 'Rhythmus' und 'Aussprache', 13 % beim Singtest für 'Geschwindigkeit' und 'Rhythmus'. Erfaßt man die Einzelmerkmale ohne Berücksichtigung der Kombinationen, so waren bei 76 % im Sprechtest 'Aussprache' angekreuzt. Daß darunter nicht eine gute oder schlechte Aussprache verstanden wurde, geht aus der von uns aufgestellten Tab.12 hervor. Gerade die Differenz bei Testpaar 35 war auffallend groß. Sowohl bei den echten Paaren wie auch am Tabellenende sind zwischen I und II Unterschiede in der Sprechkultur festzustellen. Es darf daher angenommen werden, daß bei 'Aussprache' das "Wie-einer-spricht" vermerkt wurde. 73 %, ebenfalls ein hoher Prozentsatz, unterschieden mit Hilfe des 'Rhythmus'. Auch hier hörte man offensichtlich nicht auf das Rhythmische oder Unrhythmische beim Sprechen, sondern auf die Besonderheiten des "Inneren Rhythmus". Das galt auch für den Singtest, wobei es selbstverständlich ist, daß grobe Abweichungen vom Normalen sofort wiedererkannt worden wären.

An dritter Stelle steht beim Sprechen die 'Geschwindigkeit', für die sich nur noch knapp die Hälfte entschieden. Sie steht beim Singen an erster Stelle. In Tab.12 sind die Zeiten des Sprechsatzes und des Liedanfangs mit der Stoppuhr festgehalten worden. Zunächst zum Sprechsatz: Er wurde bei Termin I in durchschnittlich 5,4 Sekunden, bei II in 4,9 Sekunden gesprochen. Die Verkürzung von o,5 Sekungen ist bei allen 49 Kombinationen recht einheitlich. Nur vier Kombinationen haben ein Pluszeichen und liegen zufällig verstreut. Der Liedanfang wurde bei I in 4,5 Sekunden, bei II in durchschnittlich 4,2 Sekunden gesungen. Auch hier liegt mit o,3 Sekunden eine, wenn auch geringere, Beschleunigung vor. Die Streuung ist jedoch, wie die 19 Pluszeichen erkennen lassen, beim Gesang viel größer, und die Tendenz zu absolut größeren Differenzen am Tabellenende ist ganz offensichtlich. Hier sind Unterschiede bis zu zwei Sekunden zu finden, während die hohen Prozentränge nur zwischen o und o,9 Sekunden schwanken. Bei den Testpaaren 4, 25 und 2 ist fast gar keine zeitliche Abweichung vorhanden.

55 % der Testteilnehmer, davon nur 2 % ausschließlich, hatten der 'Musikalität' der Jungen Entscheidungswert beigemessen. Die Ursache der geringen Prozentzahlen ist darin zu suchen, daß wir im Testmaterial besonders unmusikalische Sänger von vornherein ausgeschlossen hatten. Wie leicht Unmusikalität wiederzuerkennen ist, zeigt uns auch noch Rang 28 im Akust. Beisp. 6. In Tab. 12 wurde lediglich in drei groben Stufen die Intonationsreinheit des Liedanfangs bestimmt. Bei den ersten sieben Kombinationen treffen dann reine oder unrein gesungene Abschnitte zusammen, während sich am Ende der Tabelle die Gegensätze mehren. Das deutet darauf hin, daß neben der Geschwindigkeit auch die Treffsicherheit beim Singen ziemlich stark bewertet wurde.

Der 'Dialekt' steht mit 17 % beim Sprechtest weit am Ende, und keiner hatte ihn allein für seine Beurteilung herangezogen. Das rechtfertigt den Aufwand bei der Auswahl des Stimmenmaterials.

Es bleibt die Zusatzfrage nach der Bewertung der 'Klangfarbe'. Klammern wir den 'Dialekt' aus, so wurde der Klangfarbe bei der Identifizierung von Jungen vor und nach der Mutation mit 36 % bzw. 46 % der geringste Wert zugeschrieben. Die Akustischen Beispiele 1 und unsere eigene Bewertung in Tab.2 haben bereits den Beweis erbracht, daß die Klangfarbenunterschiede mit den Tonhöhenunterschieden hoch korrelieren. Deshalb ist auch die Tonhöhenänderung beim Stimmwechsel der Ursprung und die Ursache für die Unsicherheit der Urteile im Test. Es ist unmöglich, Versuchspersonen zum Vergleich Vokale, gesummte Einzeltöne oder gar Flüsterlaute anzubieten. Diese Versuche kann man sich jetzt auch aufgrund der vorliegenden Resultate sparen. Sie müssen einer eingehenden Untersuchung mit objektiven Analysiermethoden im Teil D vorenthalten bleiben.

Zuletzt soll der Versuch gemacht werden, wenigstens für die extremen Positionen in Fig. 19 A und Fig. 19 B Erklärungen zu finden. (Akust.Beisp. 3). Paar 35 hat beim Sprechtest den höchsten Prozentrang erhalten. Dabei hat Rang 6/I eine extrem schlechte Aussprache ('Körber' statt Körper und

'gepland' statt geplant), während Rang 2/II die Worte deutlich ausspricht. Besonders verwandt an dem vorliegenden Beispiel ist aber die Melodieführung, die innere Satzaufteilung und die Kadenzierung am Ende der Zeilen. Das rangletzte Paar setzt sich aus 2/I und 7/II zusammen. Von den echten Paaren ist Rang 2 am besten, Rang 7 am schlechtesten erkannt worden. Die übrigen Kombinationen mit 7/II findet man fast ausnahmslos am Ende der Verteilung. Das bedeutet, daß es für die Teilnehmer besonders schwer war, diesen Jungen zu identifizieren. Wir schreiben das dem bei 7/II leicht 'metallischen' Stimmklang zu, der bei 7/I nicht vorauszusehen war.

Bei den Singpaaren spielte die absolute Tonhöhe keine Rolle. (Tab. 3). Der Junge mit dem auffallend hohen Initialton e/1 (Rang 7) wurde am schlechtesten von den echten Paaren erkannt, aber die Tonhöhengleichheit beim Testpaar 23 (3/I + 6/II) hielt niemanden davon ab, ihm ein Minuszeichen zuzuteilen. Beim besterkannten echten Paar (Rang 2) ließ sich dagegen fast keiner durch die verschiedenen Initialtöne c/1 und B irreführen.

Rang 2/I nannten im Singtest einige Teilnehmer den "Mollsänger". Dieser Junge machte beim Aufnahmetermin I mit Ausnahme der Leistungen des Pfeifens einen durchaus musikalischen Eindruck. Im Vergleich zu den anderen konnte man ihn auch beim Termin II noch als "musikalisch" bezeichnen. Er sang den Beginn des Volksliedes bei I mit einer kleinen Terz, bei II in ganz ungewöhnlichen Schritten, intonierte dann aber das 'gib sie wieder her' beidesmal fast sauber. Zu dieser auffallenden Entsprechung gesellte sich noch eine spezifische Art, die Töne ineinander zu verschleifen. Beim Testpaar 23 unterscheiden sich die Teile so sehr im Rhythmischen, in der Singgeschwindigkeit und in der Intonation, daß seine Stellung am Rangende nicht verwundern kann.

Ergebnisse von Teil C

1. Beim Allgemeinen Bewertungstest wurden die Jungen vor und nach dem Stimmwechsel auch von guten Hörern nicht mit Sicherheit wiedererkannt.
2. Den höchsten Prozentrang der als echt beurteilten Paare erhielt beim Sprechtest ein unechtes Paar (78 %) und beim Singtest ein echtes Paar (75 %).
3. Aus dem Prozentrang der als echt beurteilten Paare ging hervor, daß die tatsächlich echten Paare zwar selten herausgefunden wurden, aber dennoch im ersten Drittel der Verteilung lagen.
4. Die richtigen Urteile lagen beim Singtest mit 64 % um 3 % über denen des Sprechtests.
5. Im Sprechtest wurden die echten Paare von den weiblichen Testteilnehmern um 12 % besser, im Singtest um 3 % schlechter als von den männlichen erkannt.
6. Es konnte gezeigt werden, daß im Gegensatz zu den unechten Paaren bei den echten Paaren eine auffallend hohe Korrelation in der Erkennung der Sprech- und Singstimme bestand.
7. Beim Sprechtest waren die meisten Teilnehmer der Ansicht, daß sie die ihrer Meinung nach echten Paare aufgrund der Verwandtschaft von Aussprache und Rhythmus beurteilt hätten.
8. Beim Singtest waren sie der Ansicht, daß sie die echten Paare aufgrund der Verwandtschaft von Geschwindigkeit, Rhythmus und Musikalität erkannt hätten. Die verwandte Singgeschwindigkeit konnte bei den ersten Prozenträngen objektiv bestätigt werden.
9. Die Klangfarbe allein ermöglicht nach übereinstimmender Aussage der Testpersonen keine Erkennung der Stimme vor und nach dem Stimmwechsel.

T E I L D

A N A L Y S E N M I T D E M S O N A G R A P H E N

Herstellung und Transkription der Sonagramme

Die Erweiterung der unteren Stimmgrenze bringt bei der Mutation neue Klangbilder hervor. Das ergibt sich aus den anatomischen und physiologischen Vorgängen und wurde durch das Ergebnis des Allgemeinen Bewertungstests bestätigt. Mit der Vergrößerung des Kehlkopfes, der Mundhöhle und der Körpermaße haben sich das Stimm-Erregersystem und die gekoppelten Resonanzräume so stark gewandelt, daß es sehr fraglich ist, ob selbst mit objektiven Messungen noch verwandte Frequenzstrukturen ausfindig gemacht werden können.

Eine von vielen Methoden, Schallsignale zu analysieren, ist die Herstellung von Spektrogrammen mit dem Sonagraphen. Da mit dieser Apparatur bisher vorwiegend Sprachlaute untersucht wurden, ist die Bezeichnung "Visible-speech-Verfahren" allgemein üblich. Ein Spektro- oder Sonagramm ist die spektrale Analyse eines beliebigen Schallsignals; es zeigt in der Abszisse die Zeit und in der Ordinate die Frequenz. Das Signal wird auf eine Magnetschleife mit der maximalen Dauer von 2,4 Sekunden kopiert und im Verlauf der Analyse mit einem Stichel in ein Mehrschichtpapier eingebrannt. Der Schwärzungsgrad auf dem Sonagramm-Papier ist ein Maß für die Amplitude. (Näheres über die Technik bei Flanagan/9).

In den vorangegangenen Arbeiten von Potter, Kopp und Green/ 30 , Meyer-Eppler/ 26 , Flanagan/ 9 etc. wurden die Laute in dem Frequenzbereich untersucht, der für ihre Differenzierung notwendig und ausreichend ist. Zur Abgrenzung der Vokale sind das die ersten beiden Formanten (S.25), und es genügt ein Spektrum bis 3500 Hz. Frikativlaute wurden vom Sonagraphen in dem bisher zur Verfügung stehenden Bereich bis 8 kHz analysiert.

Der Sonagraph Model Recorder von Kay Electric Co.,

USA, (das Gerät befindet sich im Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn) ermöglicht die Darstellung eines Frequenzbandes von 85 Hz bis 12 kHz. Alle Analysen sind zerlegbar in den Bereich 85 Hz bis 6 kHz und 6 bis 12 kHz. Die so entstandenen Papiere lassen sich bei 6 kHz nahtlos aneinanderfügen. Das Ursprungssignal erfährt eine Anhebung der hohen Frequenzen, die bei 10 kHz etwa 15 dB beträgt. Wählt man außerdem eine Analysierbandbreite von 300 Hz, so werden die Formanten besonders gut sichtbar.

Für die Messungen wurden Tonbandbeispiele von insgesamt 12 Jungen ausgewählt: 5 Jungen (Rang 1, 2, 3, 5, 7) aus der Spitze der Rangordnung, 4 Jungen (Rang 25, 30, 33, 35) aus der Mitte der Verteilung und 3 Jungen (Rang 48, 52, 54), deren untere Stimmgrenze sich nur geringfügig geändert hatte. Unabhängig vom Rang erschweren es viele Faktoren, auf den Sonagrammen übereinstimmende Bilder zu erhalten. Der Grund liegt in der Verschiedenheit des spektralen Aufbaus bei der Änderung der Tonhöhe, der Lautstärke und der Artikulationsstellung. Sollten sich dennoch und sogar bei den "Vor-Nach-Fällen" individuelle Klangbilder erhalten, so sprächen sie vermehrt dafür, daß es sich um personelle Invarianten handelt.

Es lag nahe, die Analysen mit möglichst unkomplizierten Spektren einzuleiten. Die Jungen wurden veranlaßt, das Volkslied "Fuchs du hast die Gans gestohlen" auch zu summen. Beim Summen selektieren nur die starren Nasenhöhlen aus dem primären Stimmklang, und die hochfrequenten Komponenten werden durch die Schleimhäute und durch die Umleitung der Nasengänge stark gedämpft. Da auf die Magnetschleife des Sonagraphen nur 2,4 Sekunden aufgesprochen werden können, wurden je nach der vorliegenden Summgeschwindigkeit bis maximal acht Töne des Liedanfangs erfaßt.

Für das Summen wurden fünf Paarvergleiche ausgewählt, welche die verwandten Merkmale besonders gut abbilden: Son. 2 (Rang 2), Son. 3 (Rang 3), Son. 7 (Rang 7), Son. 35 (Rang 35) und Son. 48 (Rang 48). Alle Beispiele ergeben objektiv die rhythmische Invarianz beim Summen. Son. 7

und Son. 35 bestätigen auch die Beschleunigung bei II gegenüber I. Besonders auffallend ist die verschiedene Sing-Ökonomie bei Son. 2 im Vergleich mit Son. 48. Rang 2 schleift die Töne ineinander, was schon auf S. 57 bemerkt wurde und sicher beim Test mit zum höchsten Prozentrang beigetragen hat. Rang 48 trennt bei Aufnahme I und II alle Töne ganz streng bis auf die beiden letzten. Rang 7 (Son. 7) legt alle Töne im Vergleich zu Rang 48 breiter an, hat also beide Male eine geringere Summgeschwindigkeit.

Die Tonhöhenbewegung des Liedanfangs kommt dem Maßstab zufolge in den Sonagrammen wenig heraus; sie ist oft nur durch das Auseinanderrücken der höhergelegenen Harmonischen sichtbar. (z.B. Son. 7/I und Son. 3).

Der spektrale Aufbau der Summtöne ist in den fünf Sonagramm-Paaren außerordentlich verschieden und ändert sich nicht immer proportional zum Sprechfundament. Gerade bei Son. 2 ist die Klangfarbe vor und nach dem Stimmwechsel sehr ähnlich. Überträgt man diese Erfahrung auf das Singen und Sprechen, so haben wir wieder einen Grund mehr für den hohen Prozentrang dieses Jungen gefunden. Rang 3 dagegen wurde nur noch von etwa 5o % der Testpersonen erkannt. Das ist der auffälligen Veränderung der Klangfarbe zuzuschreiben. Bei Son. 3/I liegen über 5 kHz gar keine Klangteile, während in 3/II bei 7 kHz ein sehr starker Formant hinzu gekommen ist. Auch die tiefen Formanten liegen bei II viel weiter auseinander. Rang 7 wurde als echtes Paar von den wenigsten herausgefunden, was durch einen Blick auf die Sonagramme sofort verständlich wird. Bei Son. 35 wie auch bei Son. 48 sind Aufnahme I und Aufnahme II außerordentlich verwandt und können sehr leicht einander zugeordnet werden. Dabei unterscheidet sich die spektrale Gesamtanlage der beiden Jungen vollständig. Rang 48 bringt beim Summen fast keine Harmonischen, bei Rang 35 sind sie bis 8 1/2 kHz und höher nachzuweisen.

Die echten "Vor-Nach-Fälle" sind auch auf den Sonagrammpapieren zu sehen, weil sich mit der Vertiefung der Stimmtöne die vertikalen Streifen sauber voneinander trennen. Bei den Kinderstimmen verschmelzen sie infolge

der kleinen Wellenlängen. Ein besonders gutes Beispiel dafür ist Son. 3.

Beim Öffnen der Mundhöhle wird der primäre Stimmklang in einer zunächst völlig unübersichtlichen Weise gefiltert und verstärkt. Ließ man die Jungen Vokale in der allgemein bekannten Reihenfolge a e i o u sprechen und flüstern, so waren hier am ehesten gleichbleibende Artikulationsstellungen zu erwarten. Von diesen Vokalen (Kardinalvokale) sollte weder der Ein- noch Ausschwingvorgang, sondern nur der stationäre Teil und seine spektrale Zusammensetzung den Untersuchungen zugeführt werden.

Bisher lag zur Beschreibung der Sonagramme keine brauchbare Methode vor. So war es unumgänglich, ein System zu schaffen, bei dem die Zeit eliminiert und die Formantlagen aller 12 Jungen übersichtlich angeordnet werden konnten. Die Stärke der Formanten, die sich auf Grund der relativen Schwärzung nur grob abschätzen ließ, wurde durch drei verschieden große geschwärzte Kreise symbolisiert. Mit diesem Transkriptionsverfahren gelang es, die Analysen der Termine I und II wenigstens für einen Vokal zusammenzufassen. (Fig. 21 bis Fig. 3o).

Allgemeine Formanten

Für die Beschreibung der fünf Kardinalvokale waren bei 24o Analysen insgesamt 2952 Formanten erforderlich. Davon entfielen 13o6 auf gesprochene, 165o auf die geflüsterten Laute. Bei den Vokalen a, e und i lag die Zahl der geflüsterten und gesprochenen Repräsentationswerte ähnlich hoch, bei den gesprochenen o und u waren sie geringer als bei den geflüsterten. Außer der Häufigkeitsangabe für jede Einzelanalyse n1 (Fig. 21 bis Fig. 3o) wurde die Zahl der Formanten für jeden Frequenzbereich getrennt und ohne Berücksichtigung der Gewichte bei n2 addiert sowie durch eine Kurve anschaulich gemacht. Berücksichtigt man nun noch die Stär-

ke der Formanten, so erhält man durch die Häufigkeiten n2' (Fig. 31) die Formantkarten der Vokale.

Als Formanten wurden bisher Frequenzgebiete bezeichnet, die durch eine definierte Artikulationsstellung aus dem primären Stimmklang selektiv verstärkt werden und die zur Differenzierung der Laute ausreichen. Da in dieser Arbeit individuelle Klangfarben untersucht werden, hätten für die dafür verantwortlichen Frequenzschwerpunkte neue Bezeichnungen eingeführt werden müssen. Das wurde mit dem Begriff der "Allgemeinen Formanten" umgangen. Allgemeine Formanten sind Energie-Maxima geflüsterter, gesprochener oder gesungener Laute, die eine individuelle Abgrenzung nicht oder nur durch die Unterscheidung ihrer Gewichte ermöglichen.

Energie-Minima werden folgerichtig "negative Formanten" oder "Anti-Formanten" genannt. Doch sind diese Termini bisher nur für den Bereich um 5oo Hz bei den nasalierten Vokalen und den Nasalkonsonanten m, n und ng verwendet worden. (Meyer-Eppler/26). Hier sollen Anti-Formanten grundsätzlich mit allen Formant-Defekten gleichgesetzt werden, die im Bereich der natürlichen Klangfarben beobachtet werden.

Fig. 31 zeigt die Allgemeinen Formanten der Kardinalvokale a e i o u , die im Bereich von 85 Hz bis 12 kHz als Hauptträger der individuellen Klang- oder Geräuschfarben angesehen werden müssen. Ihr Vergleich mit den Zeichnungen in Fig. 21 bis Fig. 3o bringt eine sehe hohe Übereinstimmung. Das deutet darauf hin, daß diese Formanten auch ohne die genaue Bewertung ihrer Amplituden repräsentativ sind.

Die Hüllkurven der geflüsterten und gesprochenen Vokale (Fig. 31) decken sich oberhalb des von der Stimmklang-Tonhöhe eingenommenen Bereichs größtenteils oder sind nur parallel verschoben. Da beim o und u die beiden untersten Formantfrequenzen in der Nähe der Stimmtonhöhen liegen, unterscheiden sie sich auch im Fundament wenig. Beim a rückt der erste geflüsterte Formant an die obere Grenze des gesprochenen. Der analoge Verlauf der Kurven beweist, daß bis 12 ooo Hz beim Flüstern und Sprechen prinzipiell die gleichen Hohlräume zu Eigenschwingungen angeregt werden. Beim Flüstern begünstigt das Anblasen der Mundhöhle mit vermehr-

tem Luftverbrauch die Abstrahlung hoher Frequenzen.

Zerlegt man die Analysen in die Aufnahmetermine I und II, so ist dabei zu berücksichtigen, daß nur die Ränge 1,2,3,5 und 7 echte "Vor-Nach-Fälle" waren. Diese fünf Jungen ergeben bei der Untersuchung ihrer gesprochenen Vokale (Fig. 33) eine auffallende Voreilung der männlichen gegenüber der kindlichen Hüllkurve. Es bestätigt sich das auf Seite 25 erläuterte Phänomen der Formantrückung, jetzt aber bis 12 kHz.

Drei Vergleichspaare (Akust. Beisp. 4) lassen erkennen, daß sich geflüsterte Vokale nicht nur von verschiedenen Personen, sondern auch bei I und II derselben Jungen unterscheiden. Die Veränderungen der Geräusch-Farben sind, soweit sich das mit dem Ohr kontrollieren läßt, proportional zur Rangordnung. Rang 54 ist außerordentlich ähnlich, übrigens auch in der Flüstergeschwindigkeit, Rang 33 zeigt Unterschiede, bei Rang 2 sind in einem Jahr die Vokale stark umgebildet worden. Diese Umbildungen sind in Übereinstimmung mit den anderen vier Jungen in Fig. 32 als Rückung der Formanten deutlich zu sehen. Das war zu erwarten, weil die Erweiterung der Resonanzhöhlen für die Sprech- und Flüsterlaute die gleichen Auswirkungen haben müssen.

Faßt man alle Analysen I und II ungeachtet ihrer Rangordnung zusammen (Fig. 34 und Fig. 35), so erhält man infolge der individuellen Produktionsstreuung geglättete Kurven. Die Voreilungen sind beim Sprechen und beim Flüstern noch deutlich zu erkennen. Das spricht zusammen mit den Ergebnissen beim Pfeifen dafür, daß das allgemeine Wachstum der Artikulationsräume eine Rückung der Frequenzschwerpunkte nach unten bewirkt.

Das Flüstern ohne Stimmbeteiligung und sonstige Nebengeräusche hat vielen Jungen Schwierigkeiten bereitet. Oft war daran nur eine mangelhafte Atemtechnik schuld. Immer wieder waren zwischen den Vokalen kleine Explosionen von Luft- bzw. Wasserblasen zu hören. Ihre Analysen auf den Sonagrammen stimmten häufig bis in die höchsten Formantlagen mit denen der Vokale überein oder bildeten durch die inzwischen veränderte Artikulationsstellung Mittelwerte zwischen

den Lauten. Das ergänzt die vielen Möglichkeiten, die Mundhöhle in ihren Eigenschwingungen anzuregen.

Von der Erkenntnis der Allgemeinen Formanten muß jetzt ein Weg zur Auffindung der Frequenzgebiete gesucht werden, die für die persönliche Klangfarbe der Jungen verantwortlich sind. Das führt zur Theorie der Individual-Formanten.

Theorie der Individual-Formanten

Definition: Individualformanten sind Gebiete im Bereich des mit der Stimme hervorgebrachten und durch das Artikulationssystem selektiv verstärkten Frequenzbandes, die für die individuelle Klangfarbe verantwortlich zu machen sind. Das sind

1) die individuellen Gewichte der Allgemeinen Formanten,
2) Individuelle Formanten, die bei den Antiformanten der Allgemeinen Formanten auftreten,
3) Individuelle Antiformanten, die bei den Allgemeinen Formanten nicht auftreten.

Die Theorie der Individualformanten geht davon aus, daß es bei der Produktion der geflüsterten und gesprochenen Vokale von 85 bis 12 ooo Hz keine generellen Antiformanten gibt. Allein bei diesen fünf Kardinalvokalen wird durch die Variation der Lautgestalten jeder Frequenzbereich des primären Stimmklangs oder epiglottischen Flüsterwirbels selektiv verstärkt. Die Allgemeinen Formanten (Fig.31) haben gezeigt, daß es für jeden Vokal Gerüste gibt, die den Bereich der natürlichen Klangfarben zwar abstecken, die aber nur als grobe Anhaltspunkte zu werten sind. So konnten in vielen, nicht in allen Fällen trotz der genannten Schwierigkeiten, übereinstimmende Sonagramm-Bilder zu erhalten, Formantkonstellationen gefunden werden, die unter Berück-

sichtigung der Formantrückungen für die Theorie beweiskräftig sind. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß das Visible-speech-Verfahren infolge der geringen Differenzierung der Schwärzungen für exakte quantitative Aussagen über die individuellen Gewichte der Allgemeinen Formanten ungeeignet ist.

Wie aus Fig. 21 bis Fig. 30 zu entnehmen ist, sind sich die geflüsterten Bilder ihrerseits und die gesprochenen Bilder andererseits ähnlicher, als z.B. ein gesprochener Vokal von I und ein geflüsterter Vokal von I. Nur vereinzelt fanden wir Sonagramme, die beim Flüstern und Sprechen derselben Person und desselben Aufnahmetermins zueinander paßten. Durch die bevorzugte Abstrahlung hoher Frequenzen beim Flüstern unterscheiden sich die Schwerpunkte fast immer von den gesprochenen.

Die Beispiele sollen mit Rang 25 eingeleitet werden, also einem Jungen, der etwa in der Mitte der (sich aus der Differenz des Sprechfundaments ergebenden) Verteilung liegt. Seine Stimme war bei der Aufnahme I schon verhältnismäßig tief und erreichte bei II zusammen mit den ersten Rängen das tiefste Sprechfundament. Beim Vergleich der Stimmen von I und II (Akust.Beisp. 1) fiel außer einer sehr eigenartigen Atmung und Betonung auch die verwandte Klangfarbe sofort auf. Die Verwandtschaft der Klang- und Geräuschfarben hat sich fast bei allen Vokalen bestätigt:

Beim geflüsterten a/II ist der 4 kHz-Formant gegenüber I nur noch ganz schwach zu sehen, die spezifischen Antiformanten 1,5 - 2 kHz, 3 - 3,5 kHz und 5 - 5,5 kHz sind jedoch vollständig erhalten geblieben. Das gesprochene a zeigt eine typische Formantrückung von 4,5 kHz/I nach 4 kHz/II und eine Stauchung des Fundaments. Der 2,5 kHz-Formant ist geblieben. Auch beim geflüsterten e sind Rückungen von 10 kHz/I nach 9,5 kHz/II und 2,5 kHz/I nach 2 kHz/II zu beobachten. Beim gesprochenen e rückt die ganze Mittelgruppe von 6 - 8,5 kHz/I nach 5,5 - 7,5 kHz/II. Die darüber und darunter liegenden Formanten sind bei II deutlich auseinandergerückt. Das geflüsterte i bringt bei 4,5 kHz in beiden Aufnahmen eine im Vergleich mit den Allgemeinen For-

manten ungewöhnliche Formantschwäche. Das geflüsterte o ist nicht nur im Fundament sehr verwandt, sondern auch die Antiformantstrecke von 1,5 - 5,5 kHz ist außer der Regel. Die gesprochenen o sind einander nicht zuzuordnen, während das geflüsterte u/II durch die Schwerpunkte 6,5 - 7 kHz gut aus dem u/I abzuleiten ist. Besonders verwandt sind zuletzt die Hauptgruppen 6,5 und 8 kHz der beiden gesprochenen Vokale u.

Auch der Vergleich der geflüsterten und gesprochenen Vokale (Vgl. Son.25) ermöglicht die Identifizierung dieses Jungen auf den Sonagrammpapieren. Unverkennbar ist die Gesamtanlage der Formanten der geflüsterten Vokale von Aufnahme I und der gesprochenen Vokale von Aufnahme II.

Im Teil A war die Frage aufgetaucht, ob sich die Formanten der geflüsterten und gesprochenen Vokale bis in den hochfrequenten Bereich qualitativ voneinander unterscheiden. Der Vergleich der Son. 25/II gesprochen und Son. 25/II geflüstert gibt die eindeutige Antwort. Bei den gesprochenen Vokalen sind die Klangteile bis 12 kHz an sauber getrennten Spalten zu erkennen. Das ist bei den Flüstervokalen, die durch Filtern eines Geräusches entstehen, im ganzen Frequenzbereich nicht der Fall.

Die Theorie der Individualformanten soll jetzt anhand von Einzelbeispielen erhärtet werden.

1) Vokale mit ausgeprägtem Individualcharakter.
a geflüstert: R 3. R 25. R 3o. R 54.
a gesprochen: R 2. R 7. R 25. R 3o. R 48. R 52. R 54.
e geflüstert: R 2. R 3. R 5. R 7. R 33. R 48.
e gesprochen: R 2. R 5. R 7. R 25. R 35. R 48.
i geflüstert: R 2. R 3. R 5. R 3o. R 33. R 54.
i gesprochen: R 3. R 5. R 7. R 25. R 48.
o geflüstert: R 25. R 33. R 54.
o gesprochen: R 7. R 35.
u geflüstert: R 5. R 25. R 52.
u gesprochen: R 1. R 3. R 7. R 25. R 54.

2) Beispiele für verwandte Formantrückungen.

a geflüstert: R2/ 1 nach o,5 kHz. R3/ 1 nach o,5 kHz. R5/ 1 nach o,5 kHz. R7/ 1 nach o,5 kHz. R48/ 1 nach o,5 kHz. R54/ 1 nach o,5 kHz.

a gesprochen: R1/ 2 nach 1,5 kHz und 7,5 nach 7 kHz. R2/ 1,5 nach 1 kHz. R7/ 4,5 nach 4 kHz und 5,5 nach 5 kHz. R25/ 1,5 nach 1 kHz. und 4,5 nach 4 kHz. R3o/ 8,5 nach 8 kHz. R35/ 1,5 nach 1 kHz. R48/ 8 nach 7,5 kHz.

e geflüstert: R2/ 4 nach 3,5 kHz und 5 nach 4,5 kHz und 9 nach 8,5 kHz und 1o,5 nach 1o kHz. R3/ 8 nach 7,5 kHz und 9,5 nach 9 kHz. R5/ 8,5 nach 8 kHz und 9,5 nach 9 kHz. R25/ 2,5 nach 2 kHz. R33/ 7 bis 8 kHz nach 6,5 bis 7,5 kHz. R52/ 5 nach 4,5 kHz und 7,5 nach 7 kHz. R54/ 2,5 bis 4 kHz nach 2 bis 3,5 kHz.

e gesprochen: R2/ 2,5 nach 2 kHz und 9 nach 8,5 kHz. R25/ 6 bis 8,5 kHz nach 5,5 bis 7,5 kHz. R35/ 4 nach 3,5 kHz und 7 nach 6,5 kHz und 8,5 nach 8 kHz und 1o nach 9,5 kHz. R48/ 3,5 nach 3 kHz und 4,5 nach 4 kHz und 7,5 bis 8 kHz nach 7 bis 7,5 kHz und 9,5 nach 9 kHz.

i geflüstert: R2/ 3 nach 2,5 kHz und 5 nach 4,5 kHz. R3/ 3 bis 9,5 kHz nach 2,5 bis 9 kHz. R5/ 7 bis 9 kHz nach 6,5 bis 8,5 kHz. R3o/ 4,5 bis 11 kHz nach 4 bis 1o,5 kHz. R48/ 3 nach 2,5 kHz. R52/ 3 nach 2,5 kHz. R54/ 3 bis 4 kHz nach 2,5 bis 3,5 kHz.

i gesprochen: R2/ 2,5 bis 9 kHz nach 2 bis 8,5 kHz. R3/ 4,5 bis 5,5 nach 4 bis 5 kHz. R7/ 3 bis 4,5 kHz nach 2,5 bis 4 kHz. R35/ 8 bis 9,5 kHz nach 7,5 bis 9 kHz.

o geflüstert: R33/ 3 bis 5 kHz nach 2,5 bis 4,5 kHz.

u geflüstert: R3/ 1 nach o,5 kHz und 8,5 nach 8 kHz. R7/ 6 bis 6,5 kHz nach 5,5 bis 6 kHz.

R3o/ 8,5 nach 8 kHz. R33/ 1 nach o,5 kHz
und 6,5 bis 9 kHz nach 6 bis 8,5 kHz.
u gesprochen: R3/ 7 bis 7,5 kHz nach 6,5 bis 7 kHz.
R33/ 8 bis 8,5 kHz nach 7,5 bis 8 kHz.

3) Beispiele für Individuelle Formanten, die bei den Antiformanten der Allgemeinen Formanten auftreten.
a geflüstert: R1/ 5,5 kHz. R3/ 6 kHz. R35/ 2 kHz.
a gesprochen: R48/ 3 kHz und 4 kHz.
e geflüstert: R3/ 6 kHz. R48/ 11 kHz. R52/ 5,5 kHz.
R54/ 3,5 kHz.
e gesprochen: R1/ 1+1,5 kHz. R7/ 3,5 kHz. R25/ 6 kHz
und 9,5 kHz. R35/ 2 kHz. R48/ 12 kHz.
R52/ lo kHz. R54/ 5,5 kHz.
i geflüstert: R54/ lo,5 kHz und 12 kHz.
i gesprochen: R25/ 5,5 kHz.
o geflüstert: R3/ 4,5 kHz. R5/ 3 kHz. R33/ 11,5 kHz.
R35/ 1,5 kHz. R54/ 2,5 kHz und 3,5 + 4 kHz
und 5+5,5 kHz.
o gesprochen: R2/ 9 kHz. R3/ 2,5 kHz. R35/ 11,5 kHz.
R54/ 5,5 kHz.
u geflüstert: R3/ 5 kHz. R5/ 2,5 kHz und 3,5 kHz und
11 kHz. R7/ 6 kHz. R25/ 12 kHz.
R54/ 5,5 kHz und 9+9,5 kHz.
u gesprochen: R3/ 2,5 kHz und 4,5 kHz. R25/ 11+11,5 kHz.

4) Beispiele für Individuelle Antiformanten, die bei den Allgemeinen Formanten nicht auftreten.
a geflüstert: R25/ 1,5 kHz und 3+3,5 kHz und 5+5,5 kHz.
R35/ 7,5+8+8,5 kHz.
a gesprochen: R7/ 8 bis 12 kHz. R3o/ 4,5 bis 6 kHz.
R48/ 2,5 kHz.
e geflüstert: R3/ 7 kHz und 8,5 kHz. R7/ 6 bis 6,5 kHz.
R25/ 4 kHz.

e gesprochen: R1/ 4,5 kHz. R7/ 5 bis 1o kHz. R35/ 3 kHz. R48/ 6,5 kHz.

i geflüstert: R1/ 2,5 kHz. R3/ 8,5 kHz. R5/ 1o bis 12 kHz. R25/ 4,5 kHz. R54/ 7,5 kHz.

i gesprochen: R3/ 3,5 kHz. R7/ 5 bis 6,5 kHz. R25/ 9,5 bis 1o kHz. R48/ 2,5 kHz und 7 kHz. R52/ 7,5 kHz.

o geflüstert: R25/ 1,5 bis 5,5 kHz. R54/ 6,5 kHz.

o gesprochen: R7/ 2 bis 12 kHz. R48/ 2 bis 7 kHz.

u geflüstert: R7/ 9,5 bis 12 kHz. R3o/ 7,5 kHz. R 52/ 9+9,5 kHz.

u gesprochen: R7/ 1 bis 7,5 kHz. R25/ 8,5 bis 1o,5 kHz. R35/ 7,5 bis 12 kHz.

Ergebnisse von Teil D

1. Auf den Sonagrammen war zu sehen, daß Geschwindigkeit und Rhythmus auch beim Summen Merkmale sind, die über den Zeitraum der Mutation erhalten bleiben.
2. Rang 2 war im Allgemeinen Bewertungstest von den echten Paaren am besten erkannt worden. Auch der objektive analytische Vergleich der Klangfarben ergab beim Summen eine große Übereinstimmung.
3. Die selektive Verstärkung hochfrequenter Schwingungsanteile aus dem Primären Stimmklang oder dem epiglottischen Flüsterwirbel machte zur Beschreibung der individuellen Klangfarben eine Beobachtung des Frequenzbandes von 100 bis 12 000 Hz erforderlich.
4. Zum unmittelbaren Vergleich von jeweils 24 Sonagrammen wurde die Schwärzung der Papiere durch drei verschieden große Kreise symbolisiert. Mit diesem Transkriptionsverfahren konnten die Formanten der stationären Vokalteile übersichtlich dargestellt werden.
5. Aus den Häufigkeiten der Formanten bei 24 Analysen wurden die "Allgemeinen Formanten" ermittelt. Diese zeigten, daß beim Flüstern und Sprechen prinzipiell die gleichen Artikulationsräume angeregt werden. Die quantitative Betrachtung ergab im hochfrequenten Teil beim geflüsterten i, o und u durchweg größere Amplituden als beim gesprochenen. Die Ursache ist im Anblasen der Mundhöhle mit vermehrtem Luftverbrauch zu suchen.
6. Flüstern ist in hohem Maße Träger individueller Geräuschfarben.
7. Klar gesprochene Vokale waren im gesamten Bereich der natürlichen Klangfarben auf den Sonagrammen deutlich von den geflüsterten zu unterscheiden. Daraus folgt, daß auch die hochfrequenten Schwingungen der gesprochenen Vokale klangliche Bestandteile des Primären Stimmklangs sind und nicht durch Anblasen der Mundhöhle entstehen.

8. Die durch das Wachstum der Mund- und Rachenhöhle bedingten Veränderungen waren der Grund für ein auffallendes Abwärtsrücken der Formanten von geflüsterten und gesprochenen Vokalen.
9. Die Allgemeinen Formanten bewährten sich als das grobe Gerüst, an dem sich personelle Varianten orientieren ließen. Zur Präzisierung wurde der Begriff des "Individual-Formanten" eingeführt.
10. Die Theorie der Individualformanten sagt aus, daß es unabhängig von den semantischen Merkmalen stark variierende Schwerpunkte im Spektrum der Vokale gibt, die als Individualitätsträger anzusehen sind. Diese Schwerpunkte werden geprägt durch:
    a) die individuellen Gewichte der Allgemeinen Formanten,
    b) Individuelle Formanten anstelle der Energie-Minima der Allgemeinen Formanten,
    c) Individuelle Antiformanten anstelle der Energie-Maxima der Allgemeinen Formanten.
11. Der Vergleich zahlreicher Klangbilder von beiden Aufnahmeterminen ergab, daß auch über den Stimmwechsel hinaus Individualformanten erhalten bleiben können. Das ist dann verwandten Proportionen im Artikulationssystem zuzuschreiben.

T E I L E

A K U S T I S C H E B E I S P I E L E

1. Beispiele für die Rangordnung — S. 42, S. 56, S. 66

   a) Rang 1/ Kennziffer 25 (I + II)
   " 2/ " 7o "

   b) Rang 23/ " 1o2 "
   " 25/ " 44 "

   c) Rang 53/ " 98 "
   " 59/ " 91 "

2. Beispiele für den Allgemeinen Bewertungstest — S. 5o

   A. Sprechtest

   a) 7 Jungen vor dem Stimmwechsel (Rang 1-7) in der Reihenfolge Rang 4,3,2,7,5,1,6.
   7 Jungen nach dem Stimmwechsel (Rang 1-7) in der Reihenfolge Rang 4,7,5,1,6,3,2.

   b) 4 beliebige Paarkombinationen I + II:
   Testpaar 19 (5/I + 4/II)
   " 2o (6/I + 3/II)
   " 21 (1/I + 4/II)
   " 22 (3/I + 3/II)

   c) 7 echte Paare in der Reihenfolge ihrer Ränge (Rang 1-7).

   B. Singtest

   a) 7 Jungen vor dem Stimmwechsel (Rang 1-7) in der Reihenfolge Rang 6,5,7,3,1,2,4.
   7 Jungen nach dem Stimmwechsel (Rang 1-7) in der Reihenfolge Rang 7,1,2,5,6,4,3.

   b) 4 beliebige Paarkombinationen I + II:
   Testpaar 29 (7/I + 4/II)
   " 3o (2/I + 1/II)
   " 31 (6/I + 6/II)
   " 32 (3/I + 7/II)

c) 7 echte Paare in der Reihenfolge ihrer Ränge (Rang 1-7).

3. Beispiele für extreme Prozentränge aus dem Allgemeinen Bewertungstest — S. 56

A. Sprechtest

a) Testpaar 35 (6/I + 2/II)

b) " 5 (2/I + 7/II)

B. Singtest

a) Testpaar 4 (2/I + 2/II)

b) " 23 (3/I + 6/II)

4. Beispiele für geflüsterte Vokale — S. 64

a) Rang 2 (I + II)

b) Rang 33 "

c) Rang 54 "

5. Beispiel für sehr starkes Lispeln — S. 38

Rang 24/ Kennziffer 1o5 (I + II)

6. Beispiele für extreme Unmusikalität

a) Rang 28 (I + II) — S. 56

b) Rang 4o (I + II) — S. 44

7. Beispiele für Stimmbrüche — S. 32

a) Rang 7/II

b) Rang 13/I

c) Rang 26/II

Z U S A M M E N F A S S U N G

TEIL A beschäftigte sich, zumeist anhand bisheriger Untersuchungen, mit den theoretischen Grundlagen für die Erzeugung, Beschaffenheit und Verarbeitung des Primären Stimmklangs und prüfte die Bedeutung des Summens, Flüsterns und Pfeifens im Hinblick auf die Mutation. Die sich daraus ergebenden Erkenntnisse waren der Ausgangspunkt für die Tonbandaufnahmen in

TEIL B. Bei Termin I wurden 1o6 Jungen aufgezeichnet, die sich kurz vor dem Stimmwechsel befanden. Von den 59 Jungen, die ein Jahr später auch zum Termin II bestellt wurden, hatten etwa 2o ihre männliche Stimmlage erreicht. Das war aus einer Rangordnung zu ersehen, der die Mutation des Sprechfundaments zugrunde gelegt worden war. Mit dieser Rangordnung wurden die Veränderungen der physiologischen Singgrenzen, des Kautons, des Alters, der Körpergröße, des Gewichts und des Brustumfangs verglichen. Die wichtigsten Ergebnisse waren:

1) Die untere physiologische Singgrenze fällt nach dem Stimmwechsel mit dem Sprechfundament zusammen; vor und während der Mutation liegt sie oft erheblich darunter.
2) Die obere physiologische Singgrenze senkt sich in der Zeit des Stimmwechsels etwa um eine Sext.
3) Die untere Grenze des Pfeifumfangs ist ein Maß für das Wachstum der Mundhöhle.
4) Beträgt zur Zeit des Stimmwechsels der Zuwachs der Körpergröße in einem Jahr mehr als 1o Zentimeter, so kann man mit großer Sicherheit darauf schließen, daß die untere Stimmgrenze mutiert hat.

In

TEIL C sollten die Rangersten aufgrund ihrer Sprech- und Singstimmen vor und nach der Mutation von 1oo Testpersonen wiedererkannt werden. Von je 49 Paarkom-

binationen beim Sprech- und Singtest waren 7 Paare echt, d.h. denselben Jungen zugehörig. Die Urteile ergaben:

1) Während der Mutation verändert sich der Klangeindruck der Stimmen so stark, daß sie selbst durch die Verwandtschaft der Aussprache, der Geschwindigkeit, des Rhythmus' und der Melodieführung nicht mit Sicherheit identifiziert werden können.
2) Aus dem Prozentrang aller als echt beurteilten Paare geht hervor, daß die tatsächlich echten Paare trotz ihrer schlechten Erkennung im ersten Drittel der Verteilung liegen. Beim Sprechtest liegt ein unechtes, beim Singtest ein echtes Paar an der Spitze.
3) Die Sprechstimme wird bei den echten Paaren im Gegensatz zu den unechten Paaren gleichermaßen besser oder schlechter herausgefunden als die Singstimme.
4) Die Testteilnehmer waren der Ansicht, daß sie beim Sprechtest auf die Verwandtschaft von Aussprache und Rhythmus, beim Singtest auf die von Geschwindigkeit und Rhythmus geachtet hätten. Die verwandte Singgeschwindigkeit konnte bei den höchsten Prozenträngen objektiv nachgewiesen werden.

Die Klangfarbe allein ermöglicht nach übereinstimmender Aussage der Testteilnehmer keine Identifizierung der Stimmen. Sie wurde in

TEIL D mit Sonagramm-Analysen eingehend untersucht. Auf den Sonagrammen wurde der Spektralaufbau gesummter, geflüsterter und gesprochener Einzellaute im Bereich von 85 bis 12 ooo Hz abgebildet. Die Ergebnisse waren:

1) Geschwindigkeit und Rhythmus sind schon bei den ersten gesummten Tönen des Volksliedes als verwandte Merkmale zu erkennen. Das beim Singtest besterkannte Paar zeigt auch in der Klangfarbe der gesummten Töne vor und nach dem Stimmwechsel eine auffallende Ähnlichkeit.

2) Flüstern ist in hohem Maße Träger individueller Geräusch-Farben.

3) Allgemeine Formanten sind die Hauptträger der natürlichen Klangfarben; sie werden beim Wachstum der Artikulationsorgane nach unten verschoben.

4) Die Theorie der Individual-Formanten sagt aus, daß es Gebiete im Bereich des mit der Stimme hervorgebrachten und durch das Artikulationssystem selektiv verstärkten Frequenzbandes gibt, die für die individuelle Klangfarbe verantwortlich zu machen sind. Das sind
   a. die individuellen Gewichte der Allgemeinen Formanten,
   b. Individuelle Formanten, die bei den Antiformanten der Allgemeinen Formanten auftreten,
   c. Individuelle Antiformanten, die bei den Allgemeinen Formanten nicht auftreten.

Da die Individualformanten bei einem Teil der Jungen in geflüsterten und gesprochenen Vokalen auch über den Stimmwechsel erhalten geblieben sind, können sie in diesen Fällen als Beweis für verwandte Proportionen im Phonations- und Artikulationsmechanismus angesehen werden.

In TEIL E wurden einige wichtige Beispiele der Stimmen vor und nach dem Stimmwechsel akustisch vorgeführt.

Anmerkungen

1) Das Sprechfundament wurde anhand der Identifikation der Jungen ermittelt. Jeder Junge hatte zu sprechen: (Vgl. S. 38) 'Kennziffer..., Aufnahme..., Datum, genaue Uhrzeit. Mein Name ist... Ich bin am... in... geboren. Mein Vater heißt..., meine Mutter...' Da die Jungen angehalten wurden, hinter jeder dieser Aussagen eine Zäsur zu machen, hatten sie im vorliegenden Text sieben mal die Möglichkeit zu kadenzieren. Bei diesem Kadenzverlauf ließ sich das Sprechfundament mit einer ausreichend hohen Sicherheit bestimmen.
Die Rangordnung ergab sich aus der Tonhöhendifferenz des Sprechfundaments und hatte für die Auswahl der Paare des nachfolgenden Tests (Vgl. S. 49) den Vorteil, daß sie hinsichtlich der Veränderung, die sich hörbar am stärksten auswirkt, nämlich der Klangfarbe, zufällig war. Erst der Test sollte klären, ob mit der Tonhöhenveränderung während der Mutation eine so starke Klangfarbenänderung einhergeht, daß die Identifikation der Jungen entscheidend erschwert wird.

2) Der Vergleich von Knaben- und Männerstimmen zeigt, daß sich die Stimmtonhöhe während der Mutation etwa um eine Oktav senken muß. Diese Bedingung erfüllte infolge des kurzen Aufnahmeintervalls von einem Jahr nur die Spitze unserer Rangordnung, während die mittleren und niederen Ränge als "Vor-Nach-Fälle" nicht in Betracht kamen.

3) Die Gruppenunterschiede: weibliche Beurteiler urteilen treffender als männliche, Singtest ist leichter als Sprechtest, können bei den geringen absoluten Unterschieden zwischen den Gruppen auf Stichprobenfehlern beruhen. Der Nachweis der Signifikanz dieser Aussagen muß in einer späteren Untersuchung erbracht werden.